



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

LINEÁRNÍ POSUVOVÉ SOUSTAVY S VALIVÝM VEDENÍM VE STAVBĚ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

LINEAR FEED SYSTEMS WITH ROLLER BEARING IN CONSTRUCTION OF MACHINE TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BRONISLAV KOLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Bronislav Kolář

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Lineární posuvové soustavy s valivým vedením ve stavbě obráběcích strojů

v anglickém jazyce:

Linear feed systems with roller bearing in construction of machine tools

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši, popis a uspořádání lineárních posuvových soustav s valivým vedením, které se používají ve stavbě obráběcích strojů. Dále připraví přehled základních výpočtů potřebných pro jejich konstrukční návrh.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše lineárních posuvových soustav s valivým vedením.

Popis lineárních posuvových soustav s valivým vedením.

Roztřídění lineárních posuvových soustav s valivým vedením.

Popis základních výpočtů potřebných pro návrh lineární posuvové soustavy s valivým vedením.

Vzorový příklad výpočtu lineární posuvové soustavy s valivým vedením.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

Breník, Píč a kol.; Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty, Technický průvodce 59, SNTL Praha 1982

www stránky výrobců komponent lineárních os obráběcích strojů

www.mmspektrum.com

www.infozdroje.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 11.11.2010



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá podrobným popisem a rozdělením lineárních posuvových soustav s valivým vedením, které jsou základním konstrukčním prvkem výrobních strojů. Rozebírá jednotlivé části všech druhů posuvových soustav s valivým vedením, a uvádí příklady jednotlivých existujících produktů. Následně porovnává možnost jejich využití na obráběcích strojích. Práce obsahuje praktický příklad se soupisem základních vzorců pro konstrukční návrh posuvové soustavy.

KLÍČOVÁ SLOVA


Lineární posuvová soustava, valivé vedení, životnost, profilové valivé vedení, vedení s vodíci kladkami, valivé bloky.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the detailed description and division of linear feed systems with roller bearing, which are the essential constructional components of production machines. It describes individual parts of all kinds of feed systems with roller bearing and features examples of individual existing products. It compares possibility of their usage on machine tools. Thesis contains practical example with an overview of the basic calculation used for engineering design of feed system.

KEY WORDS

Linear feed system, rolling-way, life, monorail guidance system, track roller guidance systems, linear roller bearings.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

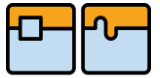

KOLÁŘ, B. *Lineární posuvové soustavy s valivým vedením ve stavbě obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 47 s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Lineární posuvové soustavy s valivým vedením ve stavbě obráběcích strojů vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů uvedených na seznamu této práce.

27. května 2011

.....
Bronislav Kolář


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc.Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 LINEÁRNÍ POSUVOVÉ SOUSTAVY	11
2 VEDENÍ STROJŮ	12
3 VEDENÍ VALIVÁ	13
3.1 Valivá vedení dle předpětí	13
3.1.1 Nepředepjatá valivá vedení	13
3.1.2 Předepjatá valivá vedení	14
3.1.3 Částečně předepjatá valivá vedení	15
3.2 Valivá vedení dle délky zdvihu	15
3.2.1 Vedení valivá s omezenou délkou zdvihu	15
3.2.1.1 Vedení se zkříženými válečky	17
3.2.1.2 Plochá klecová vedení	18
3.2.2 Vedení valivá s neomezenou délkou zdvihu	20
3.2.2.1 Valivé bloky	20
3.2.2.2 Profilové valivé vedení	22
3.2.2.3 Vedení s vodícími kladkami	32
3.3 Mazání	34
3.3.1 Druhy maziv	35
3.3.2 Mazání profilových valivých vedení	35
3.3.3 Mazání valivých bloků	36
4 NÁVRH A KONTROLA LINEÁRNÍHO VEDENÍ	36
4.1 Představení stroje, popis	36
4.2 Analytický výpočet vedení	37
4.3 Výpočet lineárního vedení	37
4.3.1 Předpokládané hodnoty výpočtu	38
4.3.2 Souřadnice působíště sil	39
4.3.3 Typ vedení	39
4.3.4 Pracovní režim	39
4.3.5 Volnochodý režim	41
4.3.6 Myšlené efektivní zatížení	42
4.3.7 Faktory ovlivňující životnost	42
4.3.8 Životnost hnízda	43
4.3.9 Kontrola statické bezpečnosti	43
ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	47

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ÚVOD

Strojírenství je nedílnou součástí každého ekonomicky vyspělého státu. Spolu s dalšími faktory tvoří celkový obraz dané společnosti, nejenom z hlediska technické úrovně. Současní konstruktéři se však musí potýkat s mnoha problémy. Cílem je splnit celkovou multifunkčnost stroje, zajistit dostatečnou přesnost a v neposlední řadě finanční otázku věci. Všechny tyto stěžejní elementy pak vyústí v celkovou produktivitu stroje.

Výrobní stroj není jen samostatná buňka, ale je často součástí celého výrobního systému. Pro zajištění co nejproduktivnějšího procesu, musí systém splňovat mnoho požadavků. Proto je potřeba při návrhu neustále zlepšovat a inovovat komponenty výrobních strojů. Neméně důležité je také implementování nových poznatků výzkumů do současné výrobní techniky.

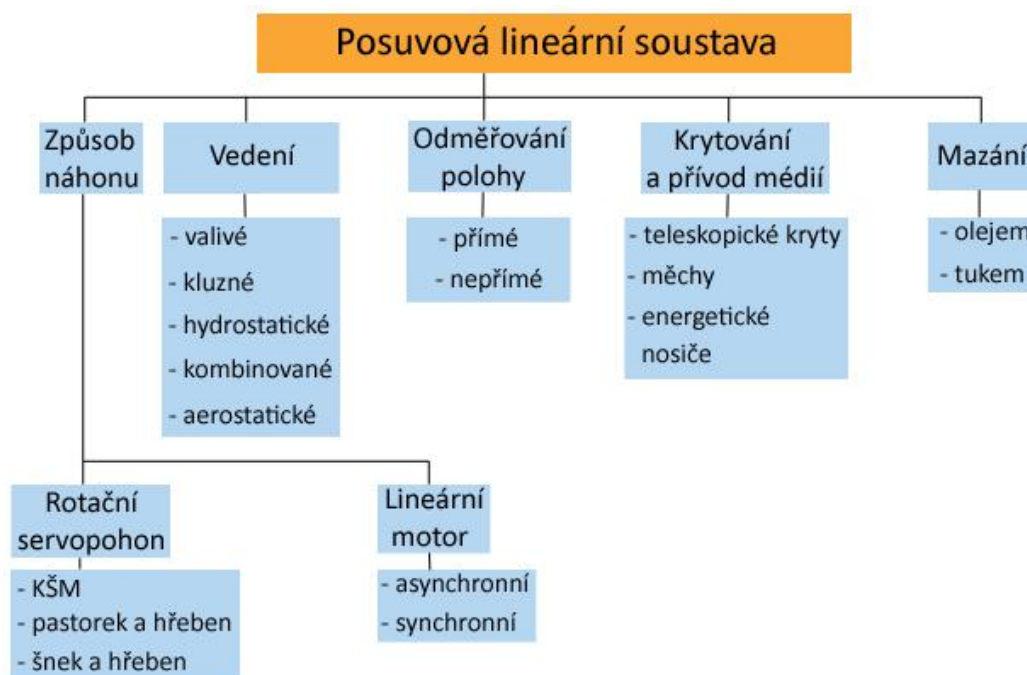
Dnešní nároky na obráběcí stroje jsou, vyjma hlediska konstrukčního a ekonomického, kladeny také na ekologické hledisko. Konstruktéři každým rozhodnutím utvářejí konečný obraz produktu, a proto je nutné věnovat zvláštní pozornost stěžejním oblastem konstrukčního procesu.

V celém výrobním procesu je požadován vysoký řezný výkon při hrubovacích operacích a následně pak vysoká přesnost při operacích dokončovacích. Přitom se právě velký důraz klade na posuvové jednotky.

Lineární posuvová soustava zajišťuje posuv částí stroje po jeho vedení. Přesnost této soustavy má zásadní vliv na budoucí jakost obrobku. Ve stavbě obráběcích strojů existuje několik typů vedení. Ve své práci se budu zabývat popisem, řešením a návrhem lineárních posuvových jednotek s valivým vedením.

1 LINEÁRNÍ POSUVOVÉ SOUSTAVY

Současný obráběcí stroj je vlastně jedna velká mechatronická soustava, sestávající se z dalších stěžejních konstrukčních uzlů. V konečném důsledku, je hlavní vlastností obráběcího stroje jako celku jeho schopnost v krátké době zaplatit majiteli náklady na jeho pořízení, a dále již jen přispívat výnosy do konečného ekonomického výsledku. Tento ideální ekonomický koloběh může být splněn pouze tehdy, jestliže stroj koná práci. A protože ke konání práce je potřeba pohyb, jsou základní soustavou výrobního stroje lineární posuvové soustavy.



Obr. 1 Rozdělení posuvových lineárních soustav [6]

Posuvová soustava stroje může mít jako náhon užito rotační servopohon nebo lineární motor (obr. 1). Jednotlivé části stroje, se musí pohybovat po určitých druzích vedení a tyto pohyby musí být velice přesně odměřovány. Celá soustava také musí vydržet určitý počet pracovních cyklů, a proto jsou, návrh krytování a způsob mazání, základními prvky posuvových soustav.

V této práci jsou rozebírány posuvové soustavy s vedením valivým, tedy malá část prvotní definice. Proto byl při vypracování kladen důraz na popsání dané oblasti co nejdetailněji.

2 VEDENÍ STROJŮ

Vedení je soustava ploch, na kterých dochází ke styku pohyblivé části s nepohyblivou. Má zaručovat pohyb po geometricky přesné dráze [4].

S postupným vývojem technologií a při požadavku dokonale plynulého chodu (a tím vyšší kvality), už současná výroba nemůže využívat dříve používaná kluzná vedení. Velká nevýhoda, kterou obsahuje kluzné vedení, je nestabilita pohybu. Zejména se tato vlastnost objevuje u hydrodynamického typu. Hledaná náhrada za tento typ vedení, se našla v podobě vedení valivých a vedení s kapalným třením (hydrostatickým) [6].

Nestabilita se projevuje ve dvou podobách [6]: - nerovnoměrný trhavý pohyb
- necitlivost

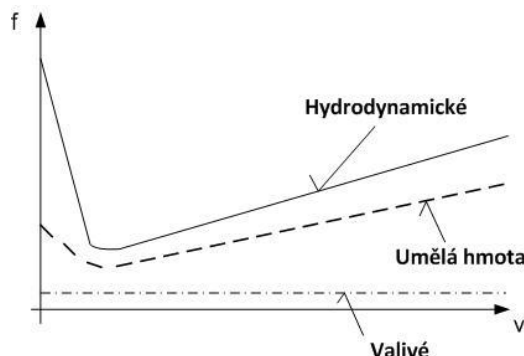
Nerovnoměrný trhavý pohyb, má za následek horší jakost výsledného obráběného povrchu. Necitlivost je myšlena tím, že je znemožněno přesné nastavení nástroje vůči obrobku [6].

Při pohybu saní, který je uskutečňován z nulové rychlosti, dojde k trhavému pohybu. Tento fakt je způsoben dvěma okolnostmi. Po překonání statického tření, tento součinitel poklesne, a jedná se pak o součinitel tření za pohybu. Celý posuvový mechanismus také není dokonale tuhý, a proto se přebytek hnací síly projeví ve formě poskoku. Tyto dva mechanismy zapříčiňují vznik nerovnoměrného pohybu. Velikost poskoku lze určit z následující rovnice [6]:

$$\Delta_p = \frac{2 \cdot (F_{TO} - F_T)}{k} + v \cdot t \quad (2.1)$$

kde: F_{TO} - třecí (adhezní) síla v klidu [N]
 F_T - třecí síla za pohybu [N]
 k - tuhost posuvového mechanismu [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]
 v - konstantní posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 t - čas ustáleného pohybu [s]

Z tohoto vztahu vyplývá, že snížení velikosti poskoku, je možné buď nekonečně velkou tuhostí, nebo snížením rozdílu mezi třením za klidu a za pohybu. A protože nekonečně velká tuhost se jen těžko dosahuje, oblast zájmu se přesunuje na zajištění co nejmenších rozdílů tření za klidu a za pohybu. Tato práce rozebírá vedení valivá. Tedy jeden z typů vedení, který má příznivější rozběhovou charakteristiku [6] (obr. 2).



Obr. 2 Závislost součinitele tření na rychlosti [6]

3 VEDENÍ VALIVÁ

Valivá vedení nalézají uplatnění u nejpřesnějších strojů, protože se vyznačují několika velice důležitými vlastnostmi[6] :

- minimální opotřebení
- dlouhá životnost
- možnost vymezení vůle a předepnutí
- vysoká přesnost pohybu i při malých rychlostech
- celkově menší součinitel tření
- menší rozdíl, mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu

Valivé vedení má i své nevýhody [6]:

- vysoká náročnost na přesnost výroby
- vyšší cena
- větší rozměry než vedené kluzná
- menší schopnost útlumu chvění
- nutnost dokonalé ochrany proti vnikání nečistot

3.1 Valivá vedení dle předpětí

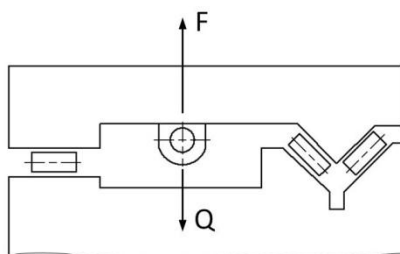
Valivá vedení můžeme rozdělit podle několika kritérií, z nichž jedno je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3 Rozdělení valivých vedení dle předpětí [6]

3.1.1 Nepředepjatá valivá vedení

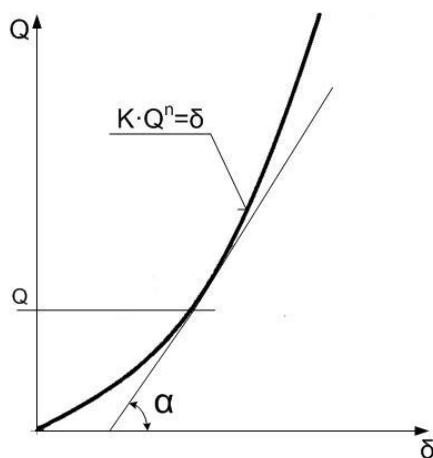
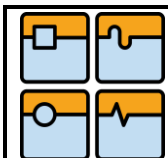
Jsou vždy otevřená a bývají uspořádána obvykle podobně, jak je naznačeno na obr. 4.



Obr. 4 Nepředepjaté valivé vedení otevřené [6]

„Tuhost elementu otevřeného valivého vedení (takový element je totožný se základním elementem valivého vedení) ve směru kolmo k valivým drahám je při zatížení jen tíhou pohyblivé části vedení dána vztahem“ [1] (viz obr. 5) :

$$k = \frac{dQ}{d\delta} = \operatorname{tg}\alpha \quad (3.1)$$



Obr. 5 Deformační charakteristika nepředepjatého elementu [1]

kde δ je deformace elementu, K je deformační konstanta, Q je zatížení stykového elementu a n je exponent, závislý na tom, zda jde o váleček nebo o kuličku [1].

Protože se v takovém případě nejčastěji jedná jen o malá zatížení, počáteční tuhost nepředepjatého vedení je nízká [1].

3.1.2 Předepjatá valivá vedení

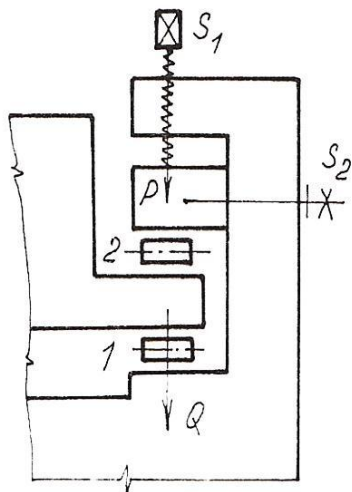
Zavedení předpětí u těchto vedení má dvojí význam: odstranit vůle a zvýšit tuhost.

U valivých vedení je možné zvyšovat tuhost předpětím nejčastěji dvěma způsoby [1]:

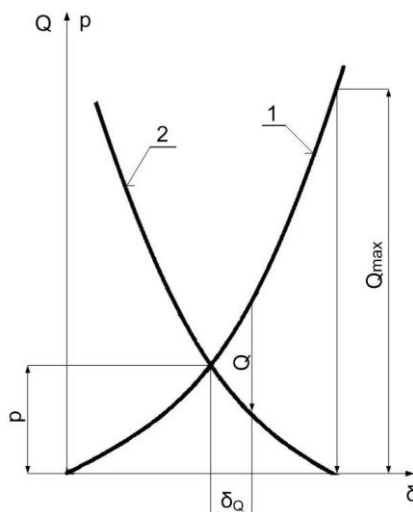
- U vedení otevřených zvyšováním počátečního zatížení
- U vedení uzavřených počátečním přitlačením protilehlých valivých tělísek k sobě

První způsob ilustruje obrázek 5. Z této závislosti vyplývá, že čím větší bude počáteční zatížení elementu, tím se bude závislost při dalším zatěžování pohybovat po strmější části a tím bude také počáteční tuhost vyšší [1].

Příčinu zvýšení tuhosti u druhého způsobu předpětí je zobrazen na obr. 6. Na dva základní elementy valivého vedení nad sebou je vyvozováno předpětí P pomocí šroubu S_1 . Šroubem S_2 je horní lišta udržována v nastavené poloze. Střední část sevřená mezi válečky je pohyblivá [1].



Obr. 6 Element předepjatého vedení [1]



Obr. 7 Charakteristika předepjatého spojení [1]

Deformační charakteristika tohoto předepjatého elementu se skládá ze dvou charakteristik základních elementů, které se protínají v bodě předpětí (viz obr. 7), kde δQ je deformace způsobená zatížením Q , p je předpětí [1].

„Zatížením střední části dochází ke zvyšování zatížení valivého tělíska 2, takže nastává vlastně sečítání charakteristik ve směru osy Q . Z toho plyne, že jestliže v bodě předpětí (charakteristiky) tělísko 1 má tuhost k_1 a tělísko 2 tuhost k_2 , tuhost elementů uzavřeného předepjatého vedení k_p bude“ [1] :

$$k_p = k_1 + k_2 \quad (3.2)$$

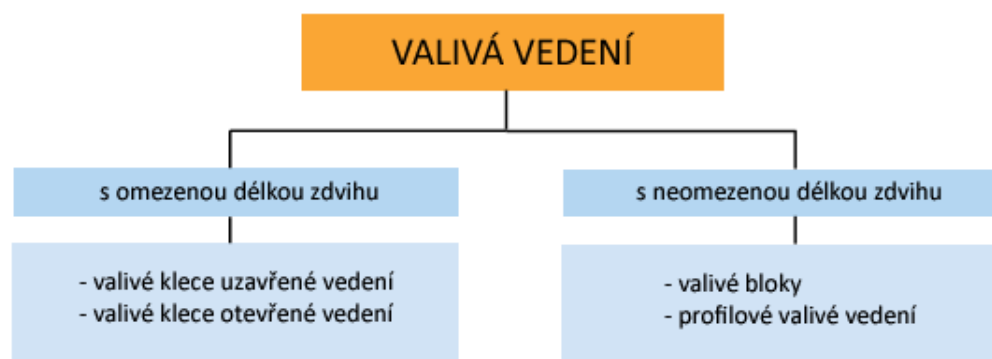
Uvažujeme-li jeden systém (druh) valivých tělísek v obou drahách ($k_1=k_2=k$), pak tuhost uzavřeného vedení je $k_p=2k$. Zatížit takový předepjatý element můžeme pouze do hodnoty Q_{\max} . Při této hodnotě zatížení dojde k odlehčení elementu 2 a dále by byl zatěžován pouze element 1. Tuhost vedení by poklesla asi na polovinu, a byla by dále rovna tuhosti elementu 1 [3].

3.1.3 Částečně předepjatá valivá vedení

U těchto vedení je předpětí provedeno pouze v jednom směru. Vedení je například předepnuto pouze ve vodorovné rovině. Tento případ se může vyskytovat jen u vedení otevřených [1]

3.2 Valivá vedení dle délky zdvihu

Jedno z dalších rozdělení valivých vedení je uvedeno na obr. 8.



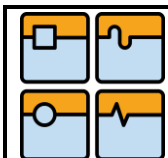
Obr. 8 Rozdělení valivých vedení dle délky zdvihu na vedení [6]

3.2.1 Vedení valivá s omezenou délkou zdvihu

Tato vedení se podle účelu dále dělí na :

- vedení pro malé zdvihy
- vedení pro velké zdvihy

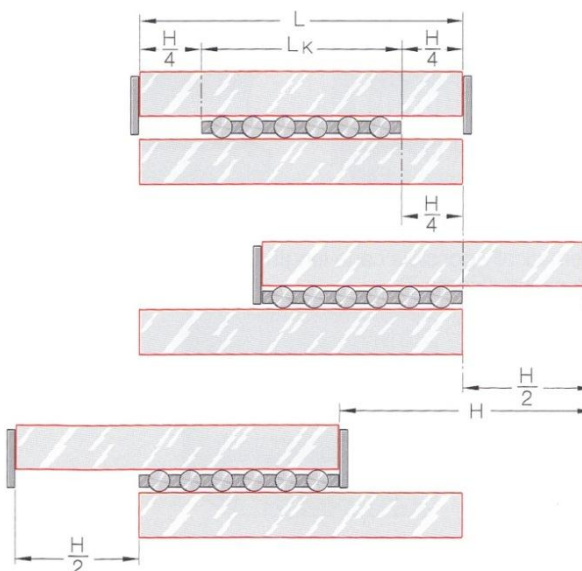
Valivá vedení s omezenou délkou zdvihu pro malé zdvihy se vyznačují tím, že během celého zdvihu pohyblivé části vedení zůstávají valivá tělíska stále mezi oběma vedeními. „Valivé dráhy“ (obr. 9) pohyblivé i nepohyblivé části mají stejnou délku“ [5].



Potřebná délka s valivými tělísky je [7]:

$$L_K = L - \frac{H}{2} \quad (3.3)$$

kde: L_K – potřebná délka klece
 L – výpočtová délka styku nebo vedení
 H – délka zdvihu

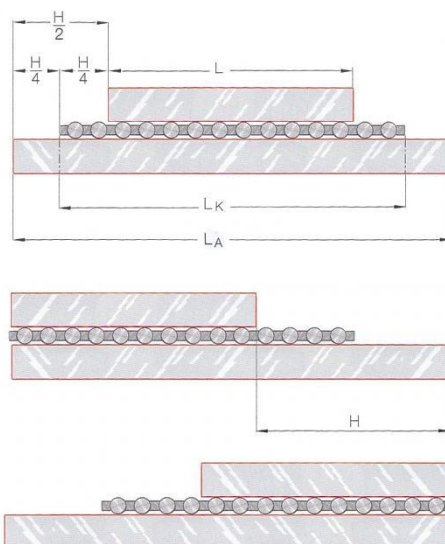


Obr. 9 Valivé vedení pro malé zdvihy [7]

Valivá vedení s omezenou délkou zdvihu se vyznačují tím, že poloha stykové oblasti valivých tělísek s pohyblivou částí se nemění. „K provedení zdvihu H je třeba, aby nepohyblivá část vedení byla stejně dlouhá jako u kluzných vedení“ (obr. 10) [5].

$$L_A = L + H \quad (3.4)$$

$$L_K = L + \frac{H}{2} \quad (3.5)$$

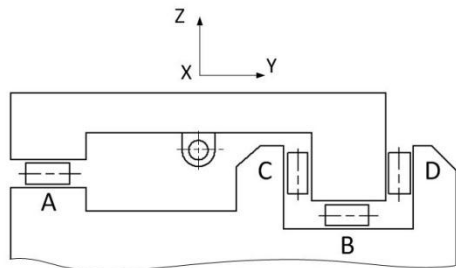


Nevýhodou tohoto řešení je, že při vybíhání a vbíhání valivých tělísek z mezery a do mezery mezi valivými drahami může docházet k malým pohybům pohyblivé části ve směru svislé osy. To může mít za následek menší klidnost a přesnost chodu. Tato vlastnost lze ovšem vhodnou konstrukcí a uspořádáním tělísek v kleci velmi zmírnit [5].

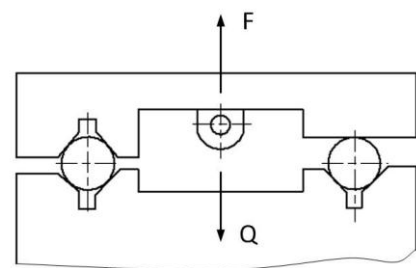
Obr. 10 Valivé vedení pro velké zdvihy [5]

Jeden ze způsobů konstrukce vedení s omezenou délkou zdvihu, se nazývá otevřené. Tato vedení zachycují většinou pouze axiální zatížení. Mohou zachycovat silové a momentové účinky. V drahách A a B (obr. 11) dochází ke stlačení všech nebo části valivých tělísek. Ve vedení opět nemá docházet k úplnému odlehčení žádného z tělísek. Zatížení, které svou velikostí překoná tíhové zatížení od hmotnosti pohyblivé části vedení (ve směru osy Z), není možné zachytit. Pro takové zatížení je vedení otevřené. Tato vedení nemohou přenášet větší klopné momenty v rovinách XZ a YZ. Jestliže nedojde

k překročení meze únosnosti valivých tělísek (dráhy C a D) může takové vedení přenášet libovolná zatížení silová i momentová (rovina XY). [5].

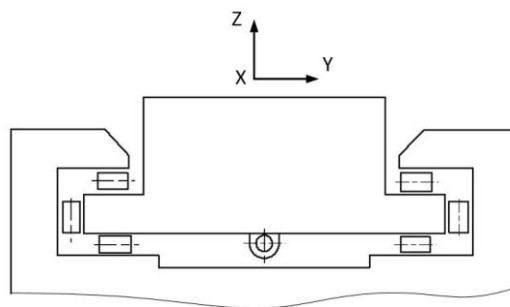


Obr. 11 Valivé vedení otevřené [5]



Obr. 12 Valivé vedení otevřené [6]

Druhým způsobem konstrukce, je uzavřené vedení (obr. 13). Nedojde-li u tohoto typu k překročení únosnosti valivých tělísek, je toto vedení schopno přenést libovolné vnější zatížení. U vedení otevřených i uzavřených je zatížení působící ve směru osy X přenášeno prostřednictvím posuvového mechanismu [5].

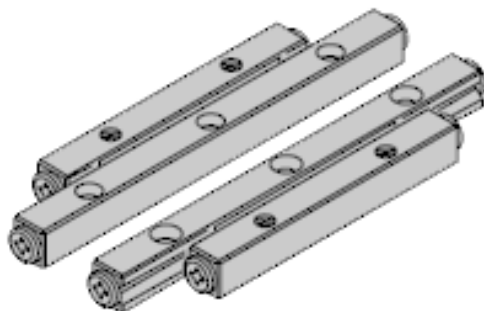


Obr. 13 Valivé vedení uzavřené [6]

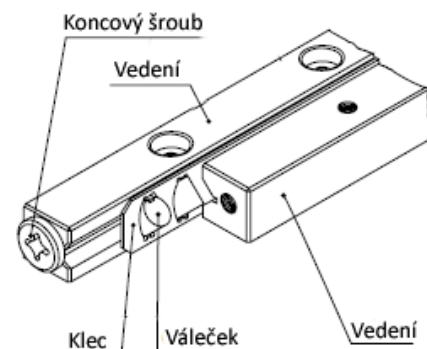
3.2.1.1 Vedení se zkříženými válečky

Na trhu v současnosti figuruje několik firem zabývajících se problematikou vedení s omezenými zdvihy. Všechny produkty jednotlivých firem se výrazně neliší svou konstrukcí, proto můžeme nalézt téměř totožné provedení u více firem najednou. Přesto každá firma vnáší do svých produktů vlastní know-how. Cílový zákazník proto volí zejména podle dosavadní spolupráce s danou firmou nebo aktuální cenovou nabídkou.

Firma IKO uvádí ve své nabídce dvojici vedení se zkříženými válečky. Jedná se o např. o provedení CRW (obr. 14, obr. 15). CRW je zkratka z anglického názvu „Crossed Roller Way“ (Vedení se zkříženými válečky).

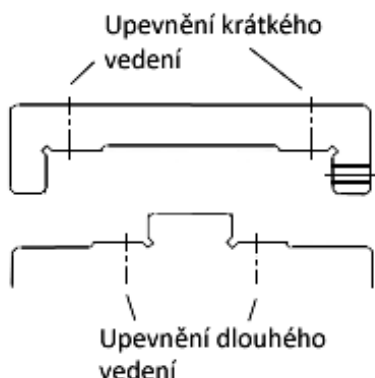


Obr. 14 Provedení CRW [14]

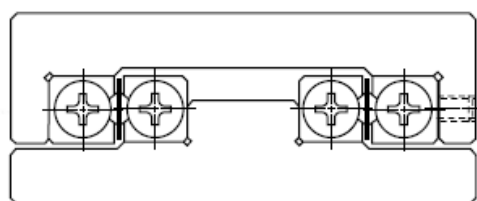


Obr. 15 Provedení CRW [14]

Jedna sada obsahuje dvě krátká a dvě dlouhá vedení, dohromady se dvěma klecemi s válečky. Způsob uchycení vedení je schématicky zobrazen na obr. 16. Řez jednou stranou vedení je uveden na obr. 17.



Obr. 16 Uchycení provedení CRW [14]

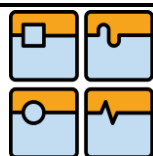


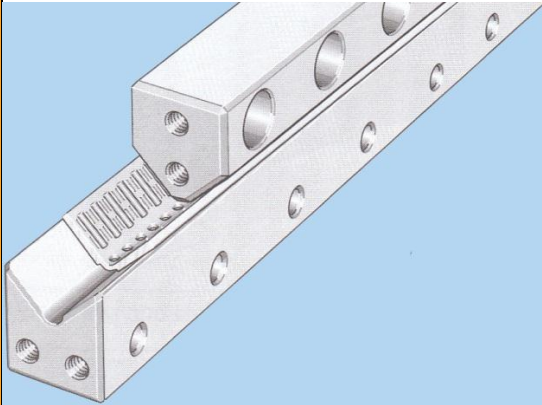

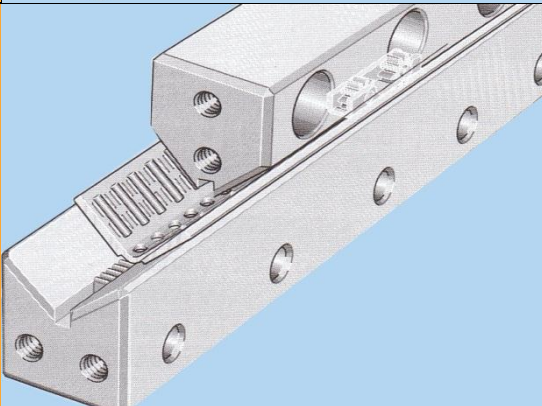
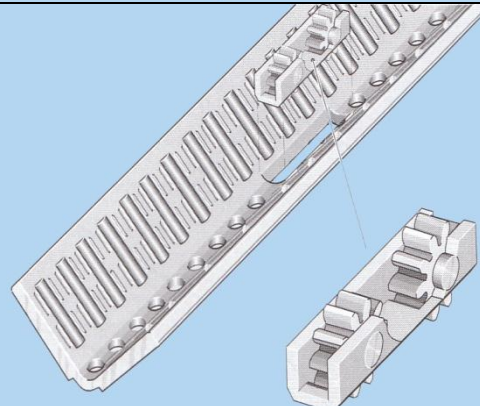
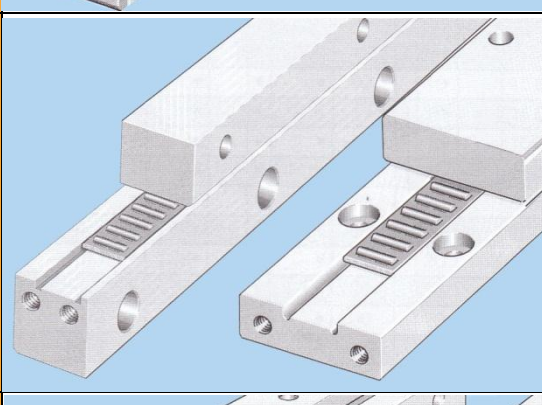
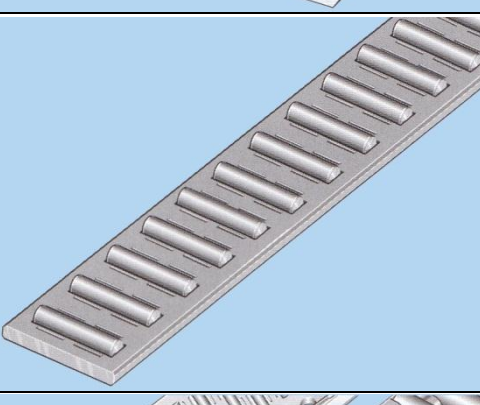
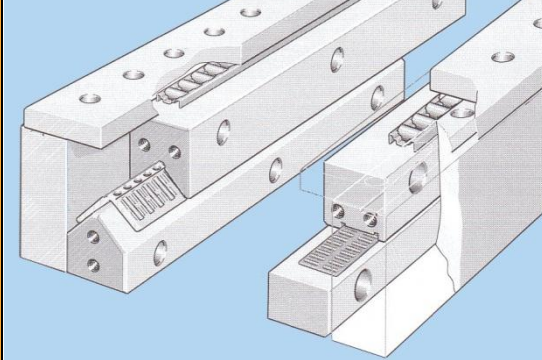
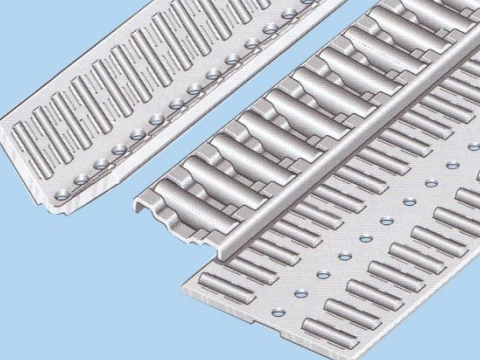
Obr. 17 Sestava provedením CRW [14]

3.2.1.2 Plochá klecová vedení

Německá firma INA, která se řadí mezi největší světové prodejce lineární techniky, nabízí celou řadu produktů řadicích se do kategorie vedení s omezenou délkou zdvihu (obr. 18).

Jednotlivá provedení opět obsahují několik vodících kolejnic a mezi nimi je umístěna klec s valivými tělisky (jehličkové, válečkové). Vodící kolejnice jsou vyrobeny z tvrzené oceli s minimální tvrdostí 670 HV. Vyrábějí se s různými provedeními děr. Na konci mají závitové díry pro připevnění střechů nebo koncových dorazů. Valivé klece jsou zde dvouřadové v provedení plochém nebo pravoúhlém. Jsou vyrobeny z oceli nebo plastu. Ocelové klece vynikají vyšší pevností. Jsou vhodné v případech, kdy jsou požadovány speciální podmínky jako velká akcelerace, vysoké teploty (do 150°) a tam, kde je konec klece odkrytý v určité části výrobního procesu. Plastové klece jsou naopak ekonomičtější řešením pro méně náročné podmínky výroby (do 120°). U provedení M/V lze nahradit valivou klec kluznou vložkou [7].



Označení	Schéma celku	Typ klece
M/V		
MVZ		
J/S		
LU		

Obr. 18 Komponenty valivých vedení s omezenou délkou zdvihu INA [7]

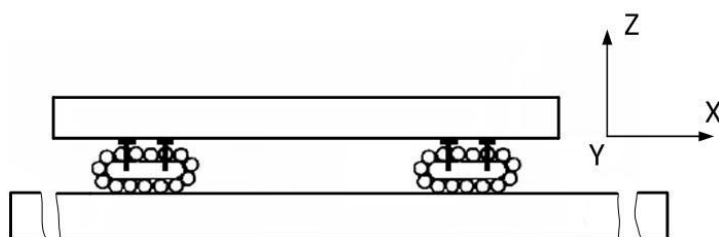
3.2.1.3 Konstrukce klecí na valivá tělíska

Účelem klece je udržovat valivé elementy stále ve stejném rozmístění. Bez klece by mohlo docházet k samovolné změně polohy elementů. Podle druhu valivých elementů se používají různé typy konstrukcí klecí [1].

Klece pro jehly se používají nejčastěji jako plochá a kloužou přímo po vodící ploše. Tento způsob může být použit i pro provedení klece do tvaru V (obr. 18). Klece pro válečky mohou být opět plochá a ve tvaru V. Konstrukčních řešení existuje celá řada. Od těchto typů se ale podstatně neliší [1].

3.2.2 Vedení valivá s neomezenou délkou zdvihu

Tato vedení se u obráběcích strojů používají, jestliže je potřeba dosahovat mimořádně velkých zdvihů. Toho je docíleno cirkulací valivých elementů obr. 19. Cirkulace tělísek probíhá po vytvořených drahách v tělese recirkulační jednotky, někdy nazývané valivé hnízdo nebo blok. Mohou být nepředepjatá nebo předepjatá. U vysoce přesných strojů se používají předepjatá vedení [5].

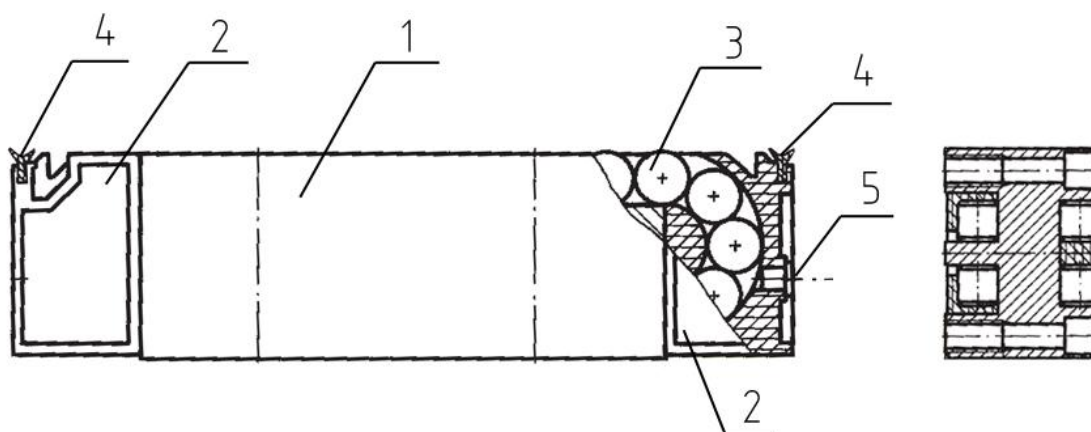


Obr. 19 Princip vedení s neomezeným zdvihem [5]

3.2.2.1 Valivé bloky

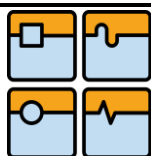
Valivý blok se skládá z několika částí [17]:

1. Hlavní nosná část
2. Čelo
3. Válečky
4. Stírač nečistot
5. Mazací otvor



Obr. 20 Schéma valivého bloku [17]

V nosném tělese jsou vytvořeny dvě dráhy, z nichž dolní je hlavní – nosná a horní je recirkulační. V čelech bloku jsou vytvořeny kanály, které obrací elementy vždy o 180°. Nosné těleso je kalené



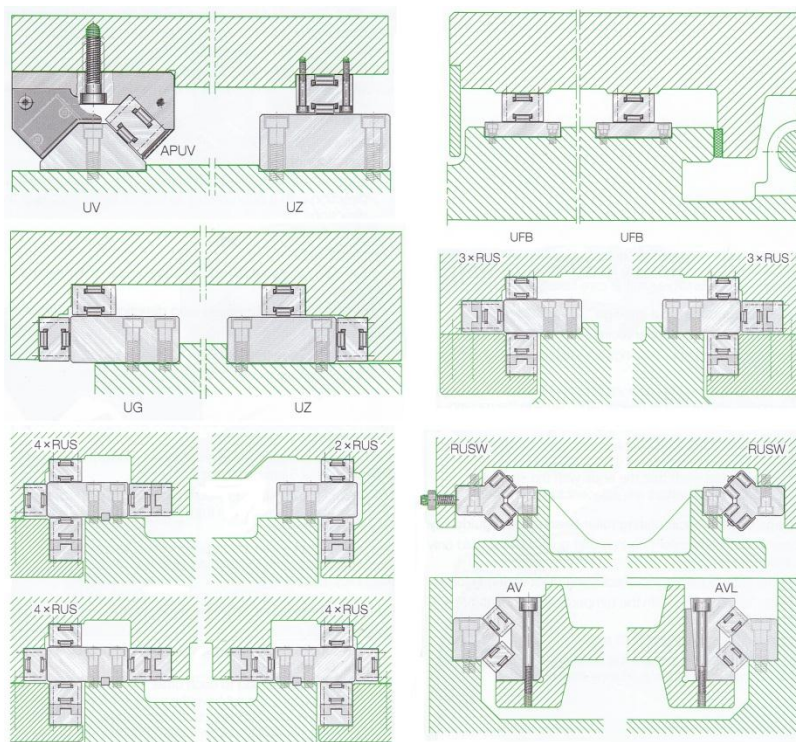
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

a broušené. Válečky jsou vedeny jako u válečkových ložisek s malou vůlí mezi okraji drah. Tím je vyloučeno přičení válečků. Klec z umělé hmoty brání vypadávání válečků z bloku v nenamontovaném stavu a pomáhá při recirkulaci [1].

Valivé bloky s válečky jsou velmi tuhé, mají nízké pasivní odpory ($f = 0,003 \div 0,005$). Tyto odpory ovšem v důsledku vybíhání a nabíhání tělísek do zatížení kolísají, což ovlivňuje přesnost polohování[1].

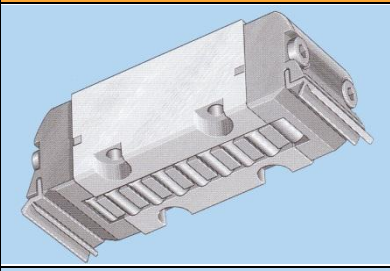
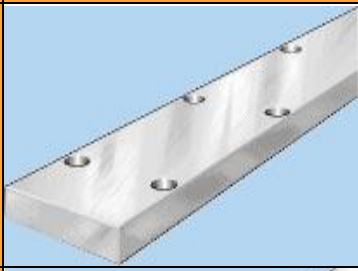
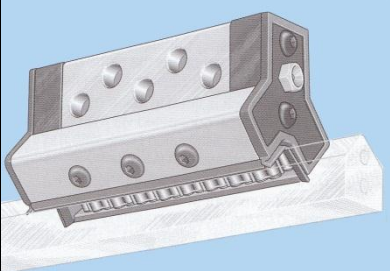
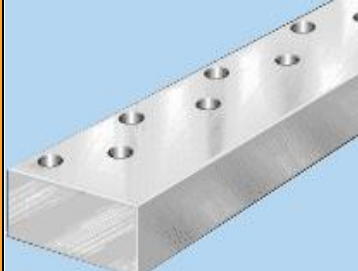
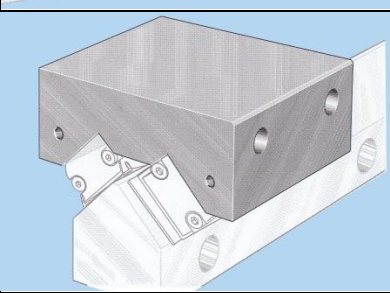
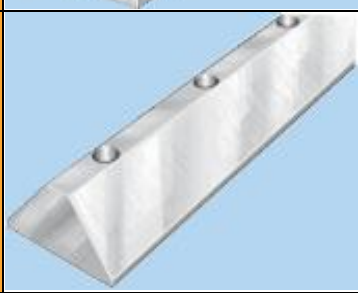
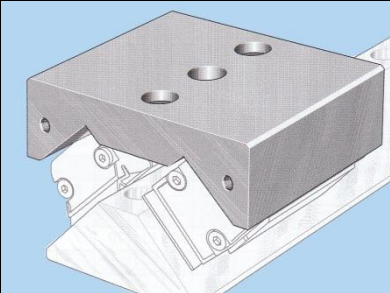
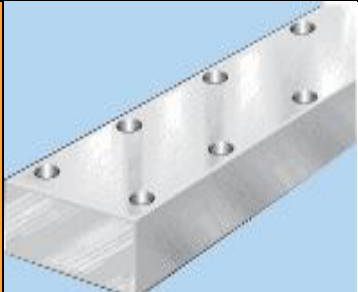
Vodící lišta je připevněna k loži stroje a valivé bloky jsou uloženy na posuvné části vedení (stole). Pro vymezení vůle a vytvoření předpětí je vždy jeden z dvojice protilehlých valivých bloků podložen dolícovací podložkou. Dolícování je velmi přesné, protože valivé bloky mají vysokou tuhost (cca $2000 \text{ N}/\mu\text{m}$). Tento způsob je značně náročný na kvalitu montáže. Proto je někdy výhodné použít princip stavitelného předpětí (např. pomocí klínové podložky posouvané šroubem). Nevýhodami tohoto způsobu jsou větší rozměry a vyšší pracnost výroby [4].

Obvykle jsou na jedné dráze dva bloky (každý na jednom konci pohyblivé části). Jestliže dosahuje pohyblivá část větších délek, používá se na jedné dráze více bloků pravidelně za sebou rozmístěných [1].



Obr. 21 Princip vedení s neomezenou délkou zdvihu – valivé bloky INA [6]

Na obr. 21 jsou uvedeny příklady uložení valivých bloků firmy INA. Na obr. 22 je uveden detailní náhled na jednotlivé komponenty z předchozího obrázku.

Označení	Schéma	Označení	Schéma
RUS		UFB	
RUSW		UG	
AV		UV	
APUV		UZ	

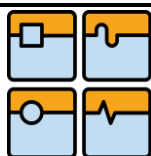
Obr. 22 Komponenty valivých vedení INA [7]

3.2.2.2 Profilové valivé vedení

Profilové valivé vedení (valivá hnízda) je v současnosti téměř nejvíce používaný způsob provedení. První profilové vedení bylo patentováno v Německu a USA v roce 1944. První užití valivého profilového vedení provedla americká firma Kearney & Trecker v roce 1978 [6].

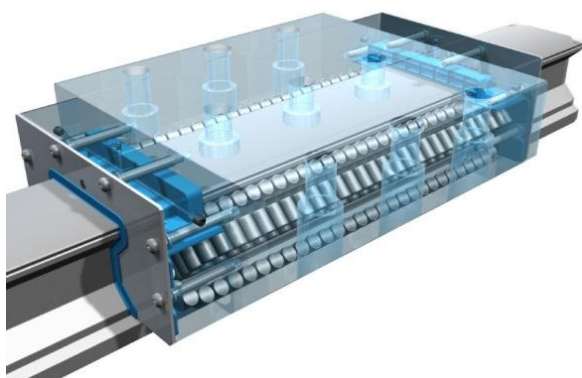
Výhodami profilového valivého vedení jsou [6] :

- bezvůlový chod
- vysoká přesnost polohování
- snadnější instalace a kompenzace nepřesností ustavení a nepřesnosti obrobení dosedacích ploch
- vysoké posuvové rychlosti
- při správně dimenzovaném vedení minimální pružné deformace a možnost vysokého zatížení
- snadná údržba
- při návrhu dodavatelskou firmou poměrně přesný výpočet životnosti

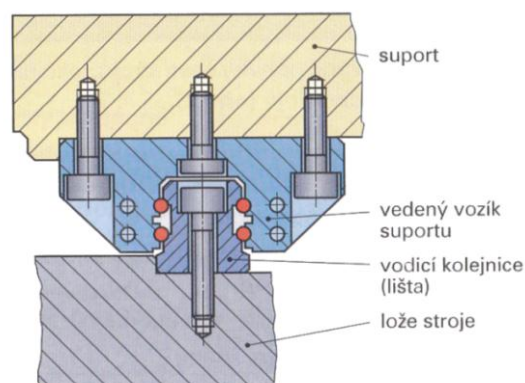


Obecně se u menších a středních strojů používají profilové valivé vedení. Z důvodu velkých zatížení, se u velkých strojů používá větší počet vozíků, větší profil vedení nebo se celé vedení nahrazuje vedením hydrostatickým [6].

Princip profilového vedení je podobný s principem valivých bloků. Omezený počet valivých tělísek (kuličky, válečky) obíhá ve vytvořené dráze uvnitř valivého hnízda, a zároveň obíhá po profilu lišt (kolejnic) přišroubovaných k loži stroje (obr. 23, obr. 24) [6].



Obr. 23 Princip valivého profilového vedení [13]



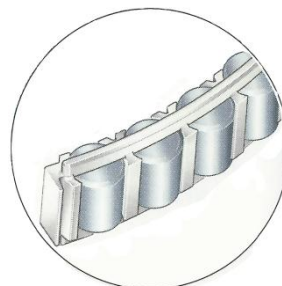
Obr. 24 Schéma profilového vedení [2]

Historický vývoj kuličkových ložisek se promítl i do profilových valivých vedení. Dříve používané plně kuličkové typy bez kuličkových klecí způsobovali díky vysokému tření značný hluk. Dále tření znemožňovalo rychlé otáčení a podstatně zkracovalo dobu živostnosti. V pozdější době bylo vyvinuto kuličkové ložisko s kuličkami v kleci. Toto nové provedení umožňovalo rychlé otáčení s nízkou hlučností. Zároveň došlo k prodloužení doby živostnosti i přesto, že bylo použito méně kuliček [8].

Valivé elementy (kuličky nebo válečky) jsou tedy v kanálech vozíku převáděny řízeně, nebo volně jedna vedle druhé. Valivé elementy jsou v případě řízeného převádění odděleny v tomto případě plastovým řetězem (obr. 25, obr. 26). Tento princip je podobný jako převádění valivých elementů u valivých ložisek [6].

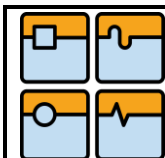


Obr. 25 Kuličky s řetězem [23]

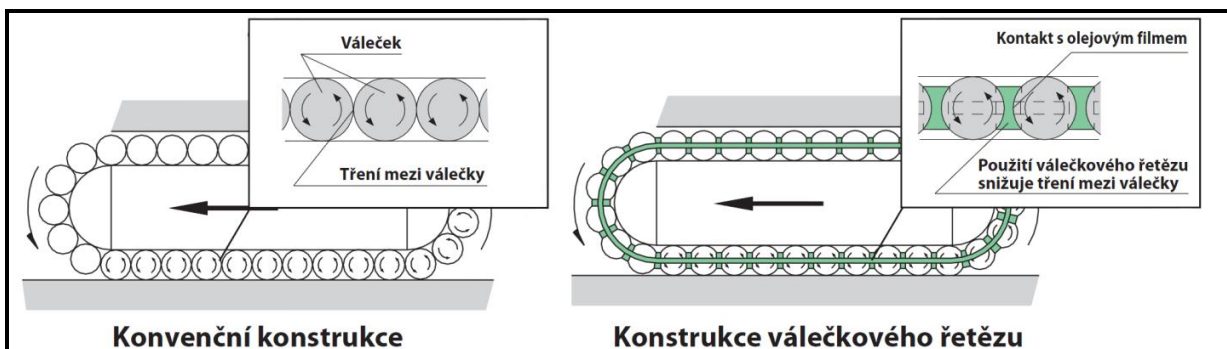


Obr. 26 Válečky s řetězem [24]

Díky využití válečkového řetězu u lineárního vedení je možné, aby se válečky rovnoměrně otáčely. Toto provedení snižuje kolísání valivého odporu a tím přispívá k hladkému a stabilnímu pohybu. V mezerách mezi drahami cirkulace válečků a řetězem, se také drží mazivo. Tato tuková kapsa se otáčením válečků nanáší na kontaktní povrch válečků, a proto se na povrchu válečků vytváří olejový film (obr. 27) [8]. Na stejném principu je založen kuličkový řetěz.



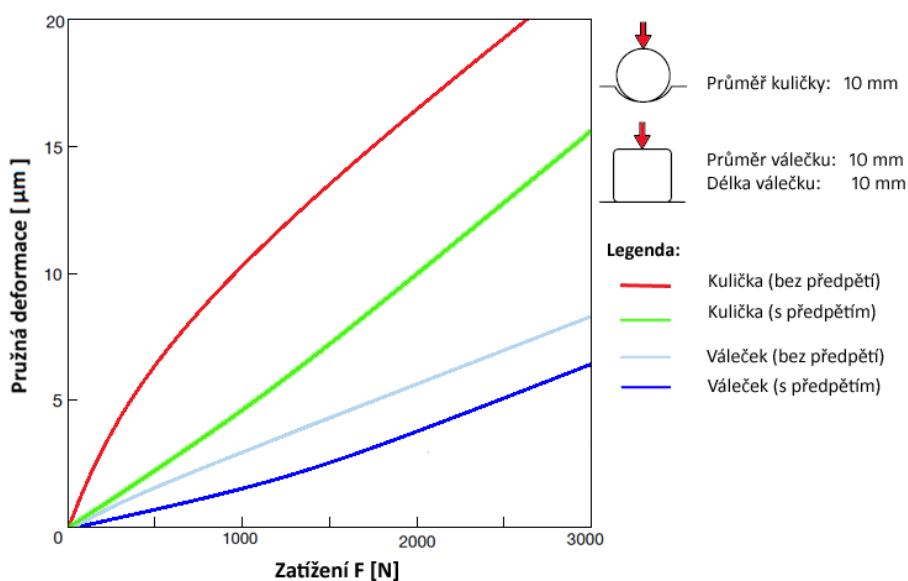
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 27 Válečkový řetěz [8]

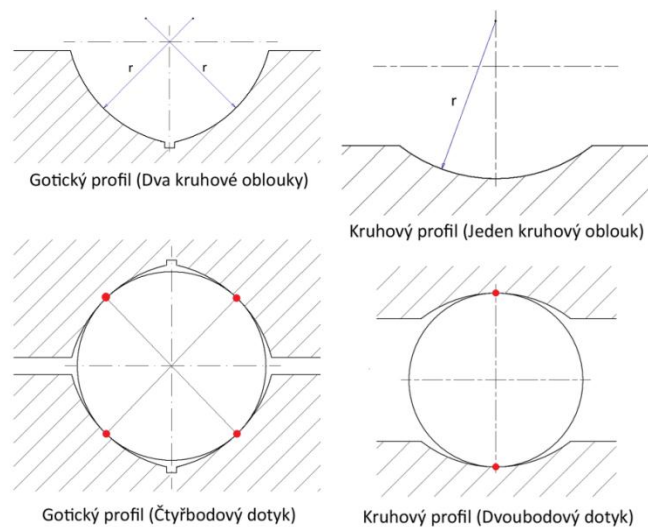
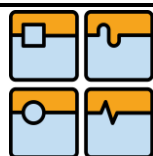
Valivé elementy se používají dvojího druhu: - kuličkové
- válečkové

Kuličková vedení jsou vhodná především pro rychloběžnější aplikace. Válečkové vedení má větší únosnost a proto se používá pro větší zatížení (obr. 28) [29].



Obr. 28 Závislost pružné deformace na zatížení tělísek [14]

Stejně jako u kuličkových šroubů, které nejsou součástí této práce, může být řešen dotyk kuličkových elementů jako gotický (čtyřbodový dotyk) nebo kruhový (dvoubodový dotyk) (obr. 29) [6].



Obr.29 Gotický a kruhový profil [6]

Podle druhu kontaktu, který je uskutečňován mezi valivými tělisky a kolejnicí, rozlišujeme mezi dvou nebo čtyřbodovým kontaktem. Další dělení je podle tvaru styku. Tvar styku je tvar obrazce, který vznikne protažením normálových os styku (obr. 30, obr. 31) [6].

Schéma	Počet vodičích drah	Druh kontaktu	Tvar styku
	2	Čtyřbodový	-
	4	Čtyřbodový	-
	4	Dvoubodový	X-tvar
	4	Dvoubodový	O-tvar
	6	Dvoubodový	Modifikovaný O-tvar

Obr. 30 Druhy kontaktů a tvarů styku pro kuličky [6]

Schéma	Počet vodících drah	Druh kontaktu	Tvar styku
	4	Dvoupřímkový	X-tvar
	4	Dvoupřímkový	O-tvar

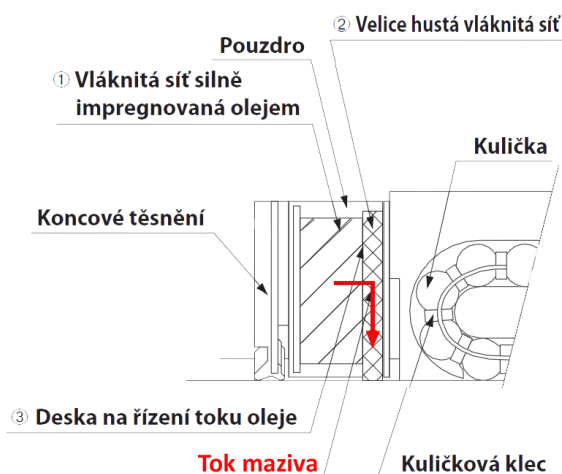
Obr. 31 Druhy kontaktů a tvarů styku pro válečky [6]

Aby mohli výrobci profilových vedení nabídnout co nejkomplexnější řešení a protože se snaží, aby se jejich vedení mohlo využít v nejrůznějších podmínkách, nabízejí svým zákazníkům další doplňkové příslušenství. Jestliže totiž standartní komponenty vedení nepostačují ke spolehlivému provozu, přidávají se ke standartním modelům právě tyto dodatečné doplňky. Tato speciální příslušenství chrání profilové vedení proti vnikání nečistot a proti nadměrnému opotřebování.

Valivé hnízdo proto dále obsahuje: - příslušenství proti prachu
- příslušenství související s mazáním

Příslušenstvím souvisejícím s mazáním jsou myšleny zejména olejové zásobníky. Jsou to nádoby s mazivem, které jsou umístěny na čelech hnízd. Tyto lubrikátory dávkují správné množství maziva do vodící dráhy. Proto se mezi styčnými plochami neustále vytváří olejový film a tím se výrazně prodlužuje životnost. Výhoda tohoto systému spočívá v tom, že neznečišťuje okolí. Další obrovská výhoda spočívá v tom, že odpadá celá mazací soustava, která by sestávala z rozvodů hadiček, dávkovacích systémů apod. Je to tedy velmi komplexní způsob, jak zajistit správné mazání styčných ploch [8].

Produkt, který využívá olejového zásobníku je např. QZ lubrikátor od firmy THK (obr. 32).



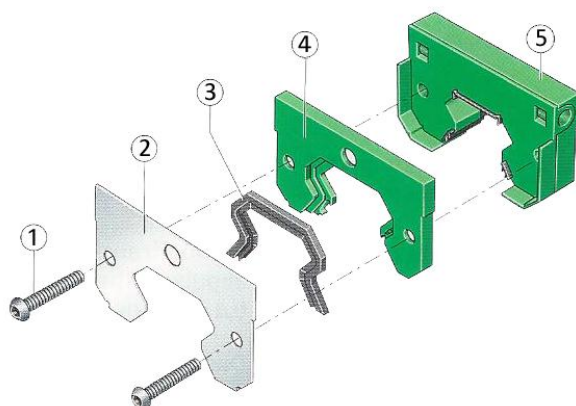
Obr. 32 QZ lubrikátor THK [8]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Funkcí vláknité sítě je uchovávat mazivo (podobně jako tomu bylo u starších inkoustových tiskáren). Na ni navazující další vláknitá síť nanáší mazivo do vodící dráhy. Deska na řízení toku oleje řídí tok maziva. Mazivo obsažené v olejovém zásobníku je dávkováno pomocí tzv. „kapilárního efektu“ [8].

Na stejném principu pracuje olejový zásobník KIT od firmy INA. Na obr. 33 je zobrazen i s příslušenstvím proti vnikání nečistot.



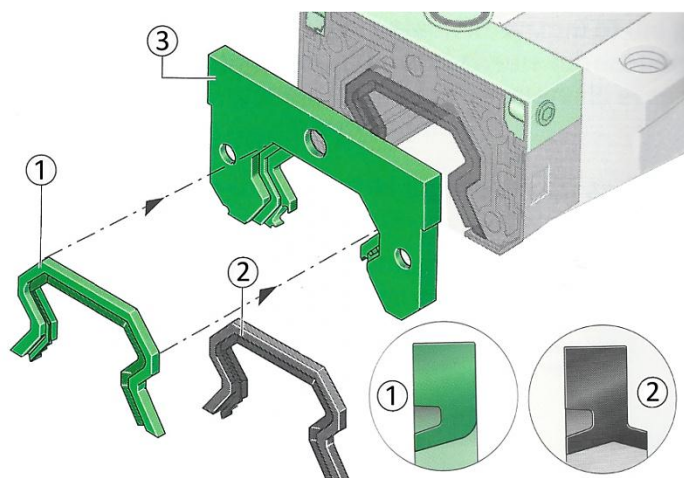
Olejový zásobník KIT:

- 1 - Upevňovací šrouby
- 2 - Koncový díl
- 3 - Koncový stírač
- 4 - Nosič
- 5 - Olejový rezervoár

Obr. 33 KIT INA [31]

Koncové díly jsou z korozi odolného materiálu a nedotýkají se lišt. Chrání stírače, které jsou umístěny za nimi před hrubými nečistotami a především před horkými třískami. Koncové stírače jsou kontaktní těsnění, které jsou umístěny v nosiči. Užívají se v prašném prostředí. Odstraňují nepatrné nečistoty nalepené na kolejnici a zadržují mazivo ve vozíku. Koncové kovové stírače mohou být také v kontaktu s kolejnicí. Ty se potom používají tam, kde se mohou na lineárních kolejnicích přilepovat okraje ze svařování. Stírače musí spolehlivě plnit svoji funkci, ale zároveň musí mít nízký kluzný odpor. Díky nízkému kluznému odporu dosahují vozíky hladkého a plynulého pohybu [31].

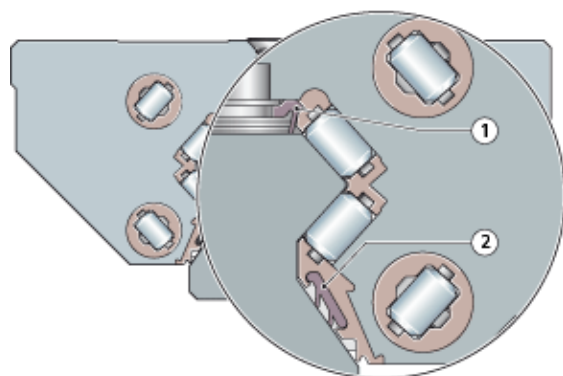
Mimo standartních, se používá celá řada dalších jedno i dvoubřitých stíračů. Tyto stírače jsou potom uloženy v tělese nosiče. Jestli-že není požadován olejový zásobník je nosič umístěn přímo na tělese valivého hnízda (obr. 34) [31].



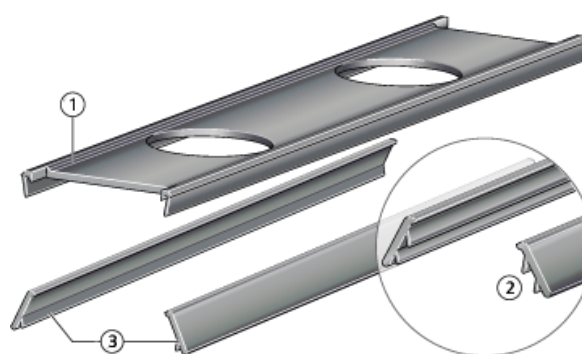
- 1 - Jednobřitý stírač
- 2 - Dvoubřitý stírač
- 3 - Nosič

Obr. 34 Typy stíračů [31]

Kromě stíračů, které by se dali považovat za čelní těsnění, se vyskytuje na hnízde ještě vnitřní těsnění. Jejich funkcí je především zadržovat mazivo v tělese hnízda. Jejich tvar se mírně liší od použití u hnízd s kuličkovými a válečkovými elementy. Tato těsnění (obr. 35, obr. 36) se používají spolu s koncovými stírači především v prostředí obsahující jemný prach nebo agresivní chladicí médium [31].



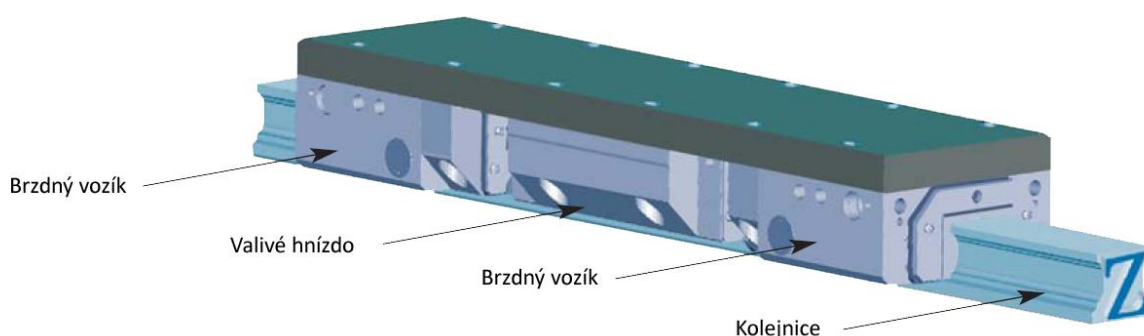
Obr. 35 Umístění vnitřních těsnění [32]



Obr. 36 Vnitřní těsnění [31]

Na kolejnici je možné také umístit brzdový nebo zpevňovací vozík. Tyto vozíky jsou použity v případech, kdy pohon nemůže zcela zajistit dostatečný brzdový účinek. Jestliže je vyžadován obzvláště velký brzdový účinek používá se i více vozíků najednou (obr. 37) [30].

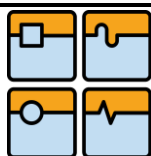
Další využití nalézají brzdové vozíky jako bezpečnostní prvky. Při výpadku proudu zajistí zastavení posouvajících se částí, a zabrání tak nežádoucímu poškození stroje [30]. Existuje více provedení, ale všechny pracují na podobném principu. Vždy je použit nějaký stlačitelný element (pružina, membrána) a ten pak mechanicky převádí uloženou energii na brzdový účinek.



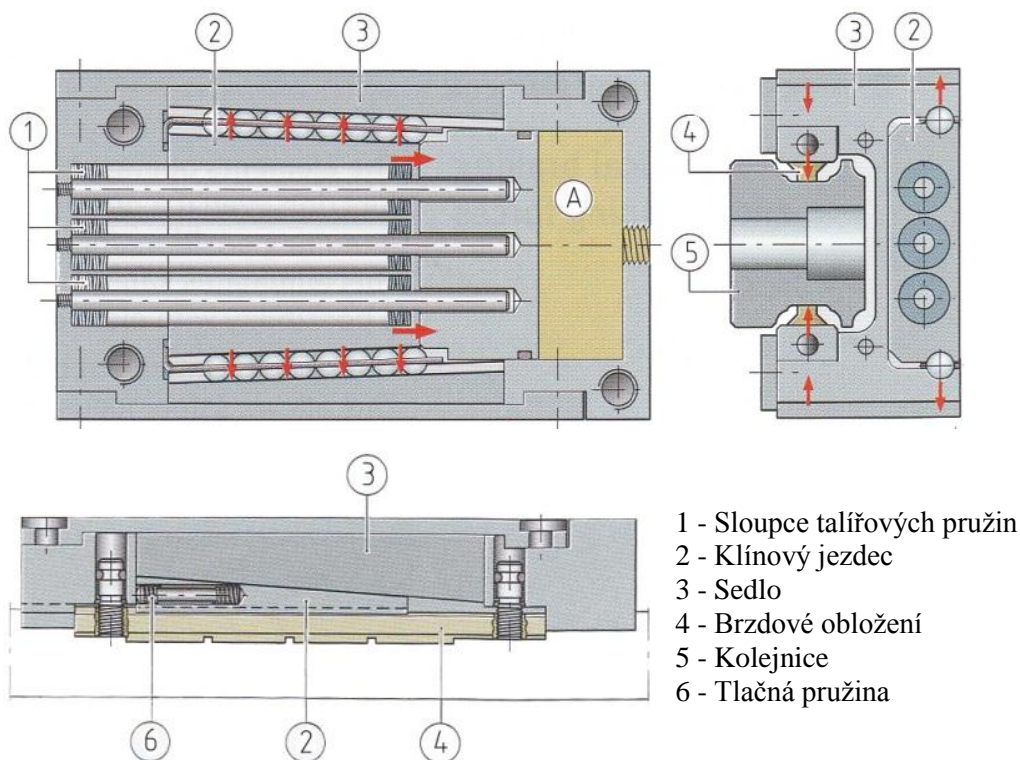
Obr. 37 Umístění brzdných vozíků [11]

Případ využití pružin prezentuje např. firma INA. Princip spočívá ve třech sloupcích talířových pružin, které jsou při normálním provozu stlačeny v tělese klínového jezdce (obr. 38 pozice 2). Jestliže dojde k výpadku proudu, poklesne tlak v místě A, a energie uložená v pružinách se uvolní. Dojde k posunutí jezdce v tělese brzdového vozíku a přes klínový mechanismus stlačí brzdné obložení ke kolejnici [30].

Na kolejnici dochází ke styku brzdového obložení pouze na místě, kde neobíhají valivé tělesa. Při tomto styku dochází k opotřebení, a tím ke změně rozměrů obložení a kolejnice. Tento fakt je nežádoucí, protože zvětšením vůle mezi obložním a kolejnicí, se prodlužuje i reakční čas. Ideální odsazení od kolejnice je řízeno tlačnou pružinou [30].

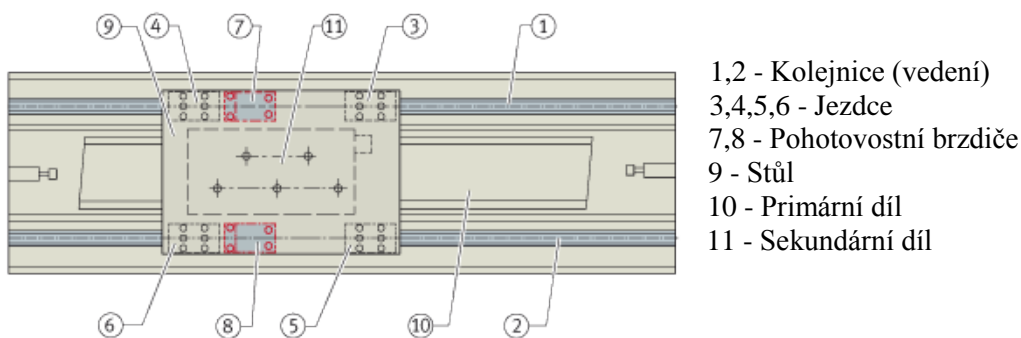


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 38 Brzdňý vozík INA [30]

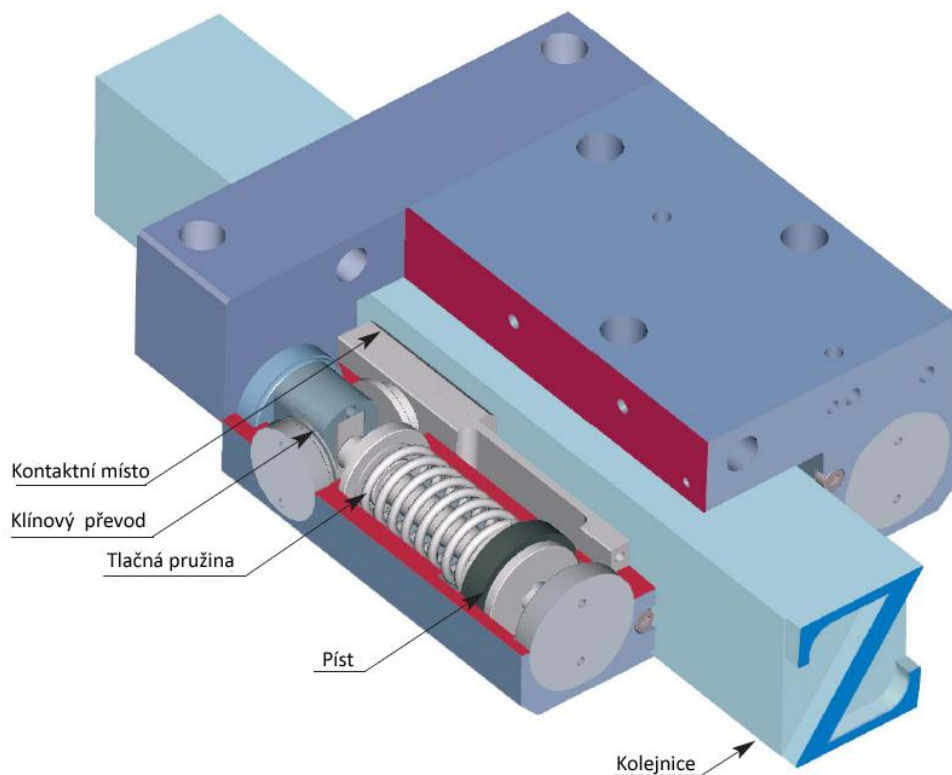
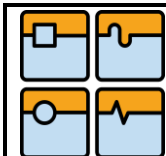
Pružina (pozice 6 obr. 38) tedy zajišťuje, že je brzdňé obložení přiloženo těsně u povrchu kolejnice, nevznikají zbytečná tření a tím nedochází ke zbytečnému opotřebení. Tyto brzdňé vozíky mohou být také užity v systémech bez oběhu valivých těles. V tomto případě (obr. 39) je použit jako pohotovostní brzdič u lineárního motoru [30].



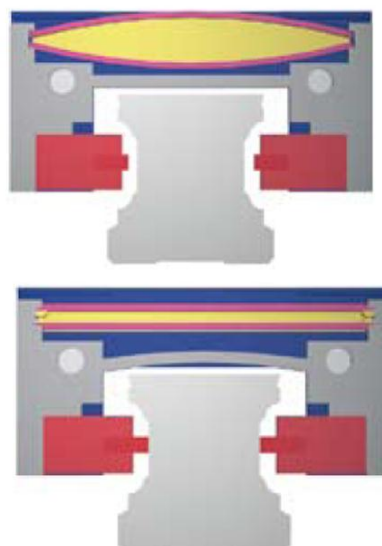
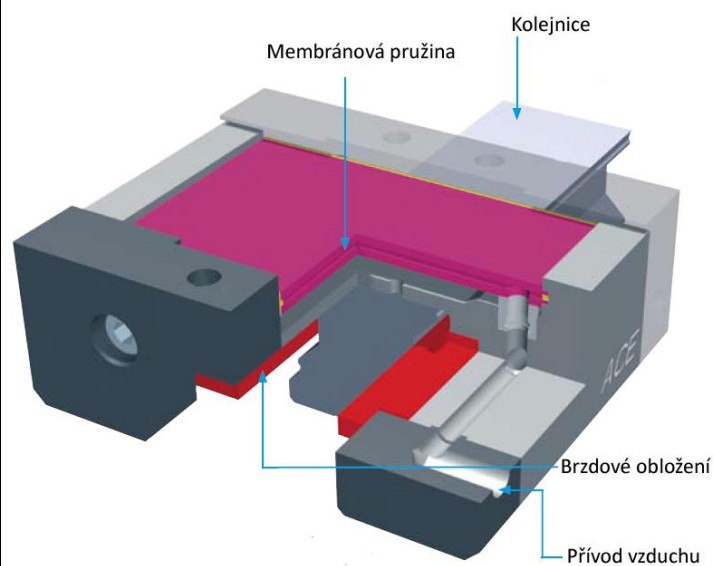
Obr. 39 Užití brzdňého vozíku u lineárního motoru [30]

Jedno z dalších možných provedení je uvedeno na obr. 40. Princip je podobný jako provedení firmy INA. Dojde-li k poklesu tlaku na píst, klínový převod se uvolní do základní polohy, a zabrzdí hnízdo [11].

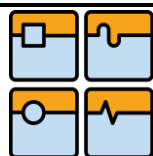
Další provedení firmy ACE je pomocí membránové pružiny. Tato membrána je v normálním stavu natlakovaná. Dojde-li k výpadku proudu, stlačený vzduch unikne z komory membránové pružiny. Tato komora tlačí na ocelový pružinový plát (obr. 41), který oddálí brzdňé obložení. Membrána je opatřena těsněním [12].



Obr. 40 Brzdný vozík Zimmer [11]



Obr. 41 Brzdný vozík Ace [12]



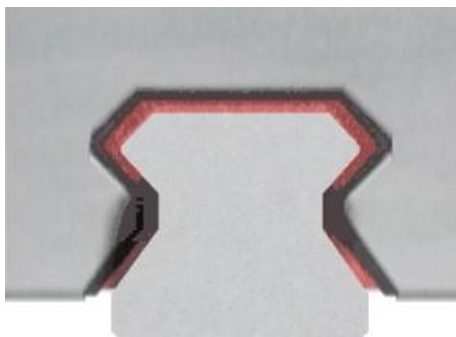
Lineární profilová vedení se používají při teplotách -10 až $+100^{\circ}\text{C}$. Dosahují nejvyšších rychlostí $3\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a zrychlení okolo $100\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ [21].

Všechny produkty firem, které nabízejí tato lineární vedení, jsou svojí konstrukcí téměř stejné. Když už se nějaký větší rozdíl vyskytne, je to spíše z oblasti přesnosti. Proto zákazníci svou volbu uskutečňují na základě dalších faktorů. Jedním z nich může být například poloha a s tím spojené financování. Zákazníci si raději objednají vedení z tuzemska nebo blízkého okolí, než aby platili za dovoz velmi přesného vedení např. z Japonska. Dalším faktorem může být také přímá spolupráce jednotlivých stran spojená s výhodnější cenou mezi oběma účastníky.

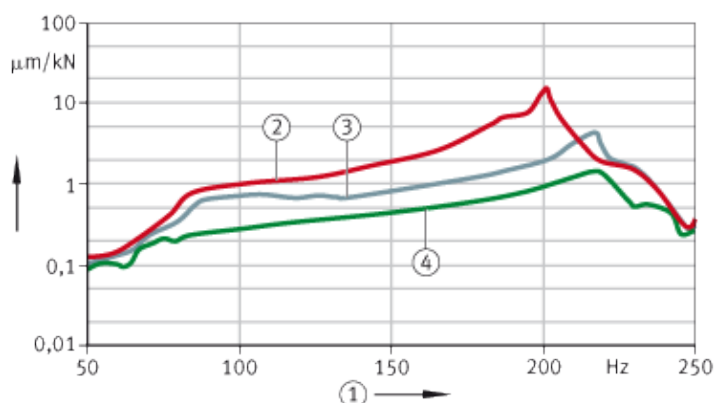
Jak již bylo uvedeno, všeobecně známou nevýhodou valivého vedení je nízké tlumení a citlivost na rázové namáhání. Proto bylo postupně vyvinuto vedení s tzv. „řiditelnými vlastnostmi“. Toho se dosahuje pomocí tlumicí jednotky umístěné spolu s dalšími hnízdy na kolejnici. Tato jednotka tlumí chvění při hrubování a při dokončovacích operacích je vypnuta (požadují se velmi malé pasivní odpory) [6].

Sériovou výrobou tlumičů pro přímočará valivá vedení se zabývá např. firma INA. Tlumič je umístěn na vodící kolejnici mezi valivá hnízda. Tlumič využívá tlumící schopnosti tenké olejové vrstvy (obr. 42), která je vytvořená mezi vodící kolejnici a tlumicí jednotkou.

Tlumič slouží jako ochrana proti rázům, protože šířka štěrbiny leží v oblasti pružného odpružení [26]. Na obr. 43 je uvedena vztah poddajnosti v závislosti na zvyšující se frekvenci. Je patrné, že při použití tlumicího vozíku (v tomto případě vozíku RUDS od firmy INA) je poddajnost takového vedení daleko nižší.



Obr. 42 Olejová vrstva tlumicího vozíku [26]



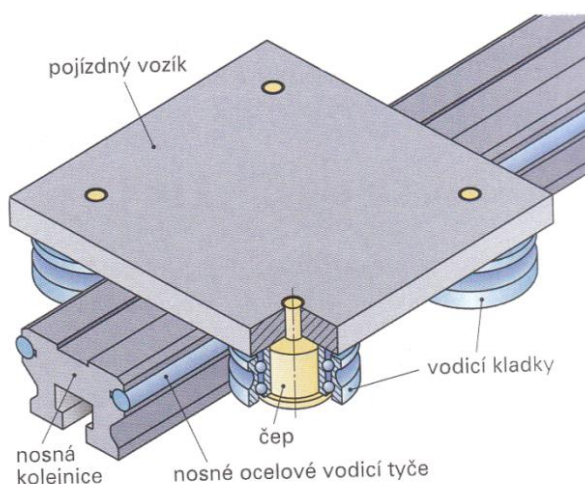
Frekvence [Hz]

- 1 - Šest kuličkových valivých vedení
- 2 - Šest válečkových valivých vedení
- 3 - Čtyři válečkové valivé vedení

Obr. 43 Poddajnost vedení [27]

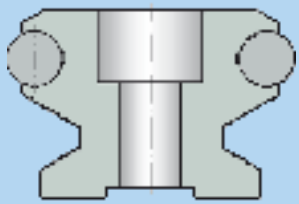
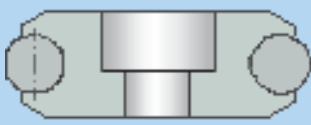
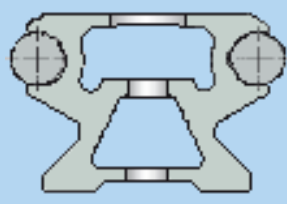
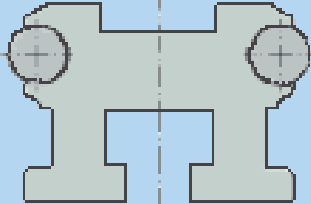
3.2.2.3 Vedení s vodícími kladkami

Vedení s vodícími kladkami jsou zvláštním případem posuvových soustav s valivým vedením. Tato vedení má velice široké uplatnění. Vzhledem k lehké konstrukci se nejvíce používají v manipulačních systémech. Vyznačují se zejména tichým chodem dlouhými drahami posunu a vysokou pojezdovou rychlostí. Vedení s vodícími kladkami se skládá z jednoho či více pojezdových vozíků, vodících kladek, nosných kolejnic a dalšího příslušenství (obr. 44). K pokrytí širokého rozsahu požadavků se vedení konceptuje jako stavebnicové. Kombinací jednotlivých typů elementů, se pak může dosáhnout návrhu, který přesně splňuje účel použití [19].

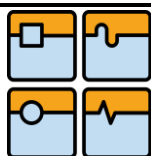


Obr. 44 Schéma vedení s vodícími kladkami [2]

Kolejnice u vedení s vodícími kladkami jsou vyrobeny z hliníku. Mohou být ploché, drážkové, plné a s dutými komorami. Do kolejnic mohou být vloženy nosné ocelové vodící tyče z válcované oceli na valivá ložiska [19].

Typ kolejnice	Schéma	Typ kolejnice	Schéma
Plná		Plochá	
Dutá		Drážková	

Obr. 45 Typy používaných kolejnic [28]

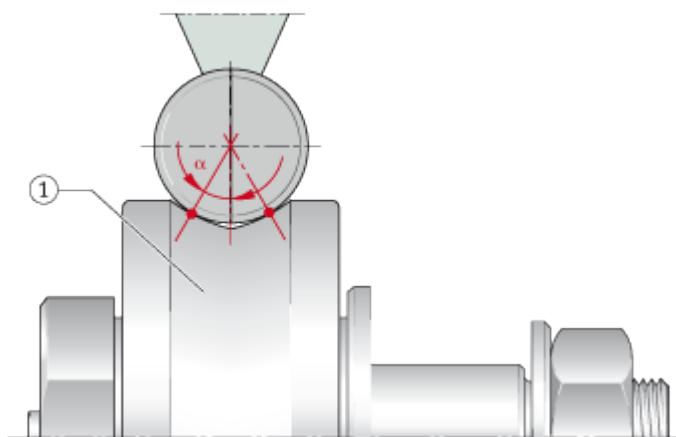


Kolejnice dále mohou být přímé, nebo zakřivené. Na obr. 46 je uvedeno zakřivené kladkové vedení od firmy Rollon.



Obr. 46 Zakřivené vedení [10]

Další součástí vedení s kladkami jsou vodící kladky. Jsou to vlastně valivá ložiska sestávající se nejčastěji ze dvou kroužků, plastové klece s elementy a těsněním. Oba kroužky jsou vyrobeny z korozi odolné chromové oceli na ložiska. Vnější ložiskový kroužek má na vnější straně gotický profil podobně jako u kuličkových šroubů nebo profilových valivých vedení (obr. 29). Kontaktní úhel mezi vedením a kladkou je maximálně 30° (obr. 47). Ložisko může přenášet axiální i radiální síly oběma směry. Kladka je z obou stran utěsněna těsněními proti vnikání nečistot [20].



1 - Gotický profil, $\alpha = 30^\circ$

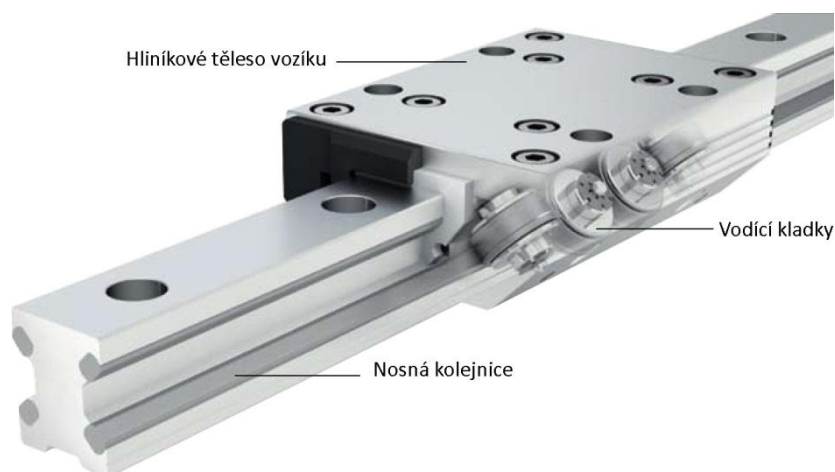
Obr. 47 Kontakt vodící kladky [20]

K vozíkům jsou vodící kladky připevněny šrouby. Tyto šrouby jsou vyrobeny z tvrdé oceli. Jsou buď soustředné nebo excentrické. Excentricita je využita k vymezení vůle na vedení. Také mohou mít mazací otvory, pro přívod maziva ke kladce [20].

Pojezdové vozíky mohou být s dutou komorou, otevřené, kompaktní a otočné. Vozíky jsou vyrobeny z eloxovaného hliníku. Otevřené vozíky se používají tam, kde je požadováno jednoduché řešení lineárního vedení [29].

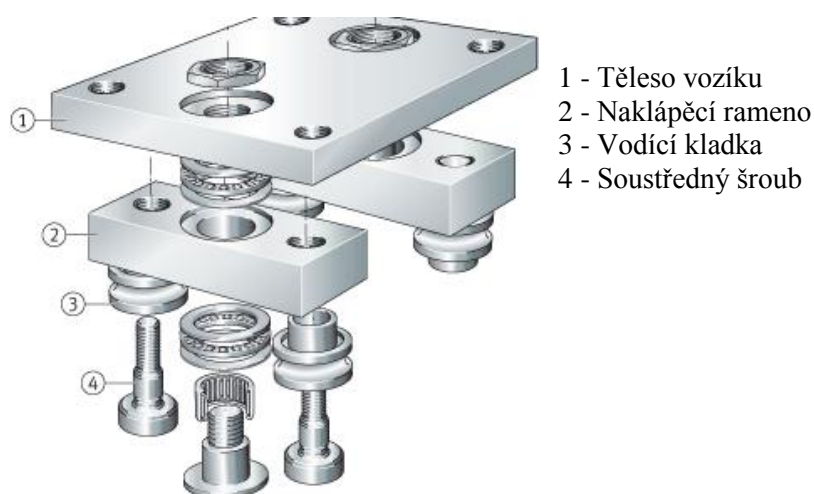
U kompaktních vozíků je celá oblast kladek konstrukčně zakrytá tělesem vozíku. Používají se ve značně znečištěných prostředích. Obsahují nejčastěji na obou čelech integrované mazací jednotky [18].

Jedno z možných provedení tohoto typu je od firmy Franke (obr. 48).



Obr. 48 Kompaktní vozík Franke [16]

Použitím otočných vozíků spolu se zakřivenými kolejnicemi, můžeme dosáhnout téměř jakéhokoli tvaru vodící dráhy. Otočný vozík (obr. 49) obsahuje dvě naklápěcí ramena (podepřená axiálně i radiálně valivými ložisky), dále čtyři soustředné, případně dva excentrické a dva soustředné šrouby [22].



Obr. 49 Otočný vozík [22]

Vedení s vodícími kladkami se používají při teplotách -20 až $+80^{\circ}\text{C}$. Dosahují nejvyšších rychlostí $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a zrychlení do $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ [25].

3.3 Mazání

Pro správnou a spolehlivou funkci stroje je zapotřebí věnovat patřičný důraz na návrh zařízení pro mazání funkčních ploch mechanismů stroje a pro mazání řezného procesu. Tato zařízení zabezpečují cirkulaci hmoty (maziva a řezné kapaliny) uvnitř technologického pracoviště [1].

K nejdůležitějším funkcím maziv patří [2]:

- minimalizace tření
- tlumení rázů
- antikorozi ochrana
- odvod tepla
- odvod sedřených částíček

Dále musí maziva mít tyto vlastnosti [2]:

- odolnost proti prachu
- malé vnitřní tření
- žádný obsah vody a kyselin
- žádný obsah pevných částíček
- nepatrné změny viskozity
- vysoká teplota vzplanutí
- nízká teplota tekutosti
- odolnost proti stárnutí

Konkrétní způsob mazání je závislý na zatížení, provozních podmínkách a prostředí, ve kterých bude stroj provozován. Neexistuje univerzální pravidlo pro volbu druhu mazání. Mazání stavebních komponent lineárních souřadnic se provádí olejem nebo tukem. Způsob mazání je podobný jako u valivých ložisek (většinou ztrátový) [6].

3.3.1 Druhy maziv

Nejvíce používanými druhy maziv jsou tekutá maziva a mazací tuky. Jako tekutá maziva se většinou používají minerální nebo syntetické oleje [2].

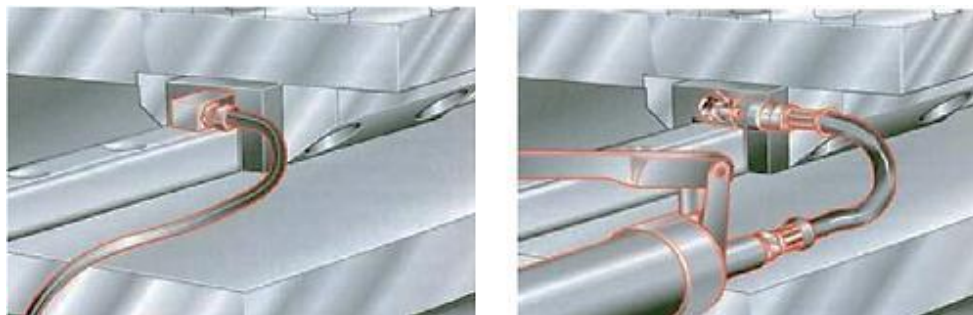
Minerální oleje, které se získávají z ropy, se skládají z uhlovodíků, které mají podle délky uhlíkového řetězce vyšší nebo nižší viskozitu. Do minerálních olejů se přidávají aditiva (přísady), které stabilizují viskozitu ve velkém rozsahu teplot a mimoto zlepšují i odolnost proti tlaku a proti stárnutí. Tyto oleje jsou podle druhu použitelné při teplotách mezi -20°C až 100°C [2].

Syntetické oleje mají mnohem příznivější teplotní stabilitu viskozity a větší odolnost proti stárnutí než minerální oleje. Jejich nevýhodou je vyšší cena. Mazací tuky jsou tvořeny minerálními nebo syntetickými oleji, zahuštěnými do pastovitěho stavu baryovým, sodným nebo lithiovým mýdlem [2].

3.3.2 Mazání profilových valivých vedení

Profilová valivá vedení vyžadují dostatečná zásobování mazivy. Je zde možné mazání tukem i olejem. První mazání tukem by mělo být provedeno hned po montáži vedení. Poté probíhá mazání pravidelnými intervaly udávaných výrobcí profilových vedení [15].

Přes mazací adaptér lze vozík napojit přímo na centrální mazací systém (obr. 50).

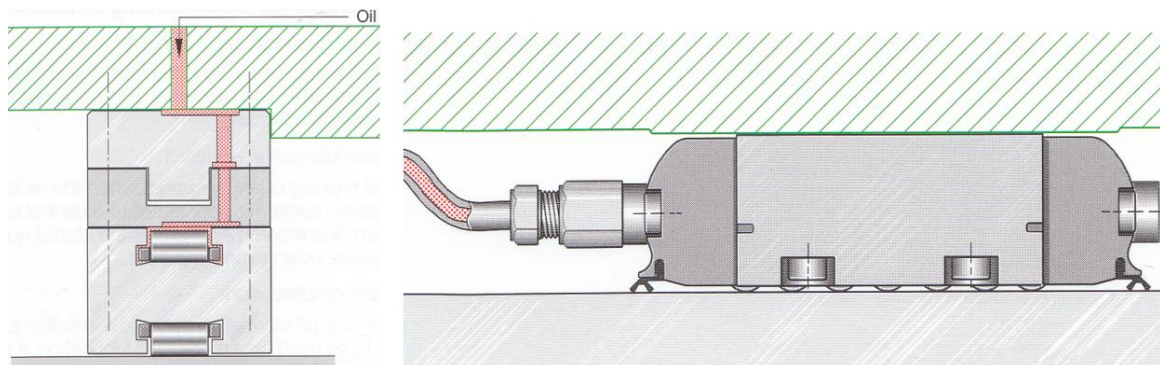


Obr. 50 Mazání profilového valivého vedení tukem a olejem [6]

Další možnost mazání profilových vedení je pomocí permanentního olejového zásobníku. Tento způsob je uveden dříve na obr. 32.

3.3.3 Mazání valivých bloků

Mazání valivých bloků je také možno provádět pomocí tuků a olejů. Způsob přísunu maziva je uveden na obr. 51. Jedná se o napojení na mazací soustavu pomocí stavěcí lišty nebo koncového dílu.



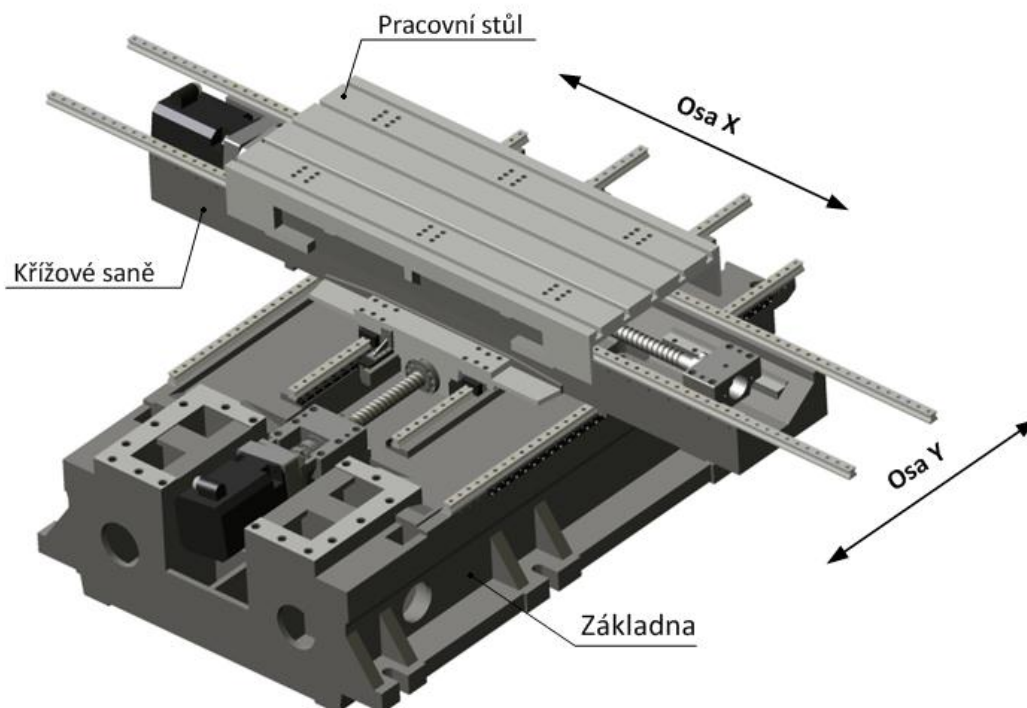
Obr. 51 Mazání valivých bloků [6]

4 NÁVRH A KONTROLA LINEÁRNÍHO VEDENÍ

Pro praktický návrh a kontrolu lineárního vedení je uvedena analýza vedení klasického zástupce vertikálních frézovacích obráběcích center MCFV 1260 od firmy Tajmac-ZPS. Pro lepší názornost jsou dvě osy tohoto centra zpracovány v programu Autodesk Inventor.

4.1 Představení stroje, popis

Jedná se o vertikální centrum moderní konstrukce s lineárními vedeními ve všech osách a digitálními pohony posuvů. Je vybaveno třemi osami, které umožňují frézovací, vrtací, vystružovací a zahlubovací operace včetně řezání závitů v obrobcech z oceli, ocelolitiny, litiny a slitiny lehkých i barevných kovů. Konstrukce stroje je tvořena dvěma stacionárními odlitky – základnou a stojenem, po nichž se pohybují další části stroje. Po stojanu se ve vertikálním směru pohybuje vřeteník (osa Z) a po základně (osa Y) pojíždí křížové saně, po kterých se pohybuje pomocí dalšího lineárního pohonu pracovní stůl (osa X) (obr. 52).



Obr. 52 Osa X,Y MCFV 1260 Tajmac-ZPS

4.2 Analytický výpočet vedení

Pro ukázkou výpočtu lineárního vedení je zvolen výpočet osy X (vedení pracovního stolu). Tento výpočet je nejvíce názorný a vzhledem k použité metodě, která bude dále rozebírána, bude tento výpočet z hlediska přesnosti nejreprezentativnější.

Výpočet vedení pracovního stolu je proveden analyticky. Tento výpočet předpokládá zvolení technologického zatížení v určitém bodě a dále dalších zatížení vlivem hmotnosti pohybujících se hmot (hmotnost obrobku a stolů). Velikost zatížení a jeho poloha se ovšem při řezném procesu stále mění. Proto je tento výpočet velice orientační.

Návrh vedení, který se provádí ve firmách zabývajících se výrobou obráběcích strojů, se provádí programy, které obsahují výpočtové modely. Tyto modely zahrnují návrh okrajových podmínek a pro tuto činnost je potřeba velká znalost těchto modelů a mnoho zkušeností s návrhy vedení. Tyto programy, jako např. program BEARINX®, jsou poskytovány pouze přímým zákazníkům nebo se dají za náležitý obnos od výrobců lineárních komponent přímo zakoupit. Dále je možnost nechat si od výrobce vedení zpracovat celý návrh.

4.3 Výpočet lineárního vedení

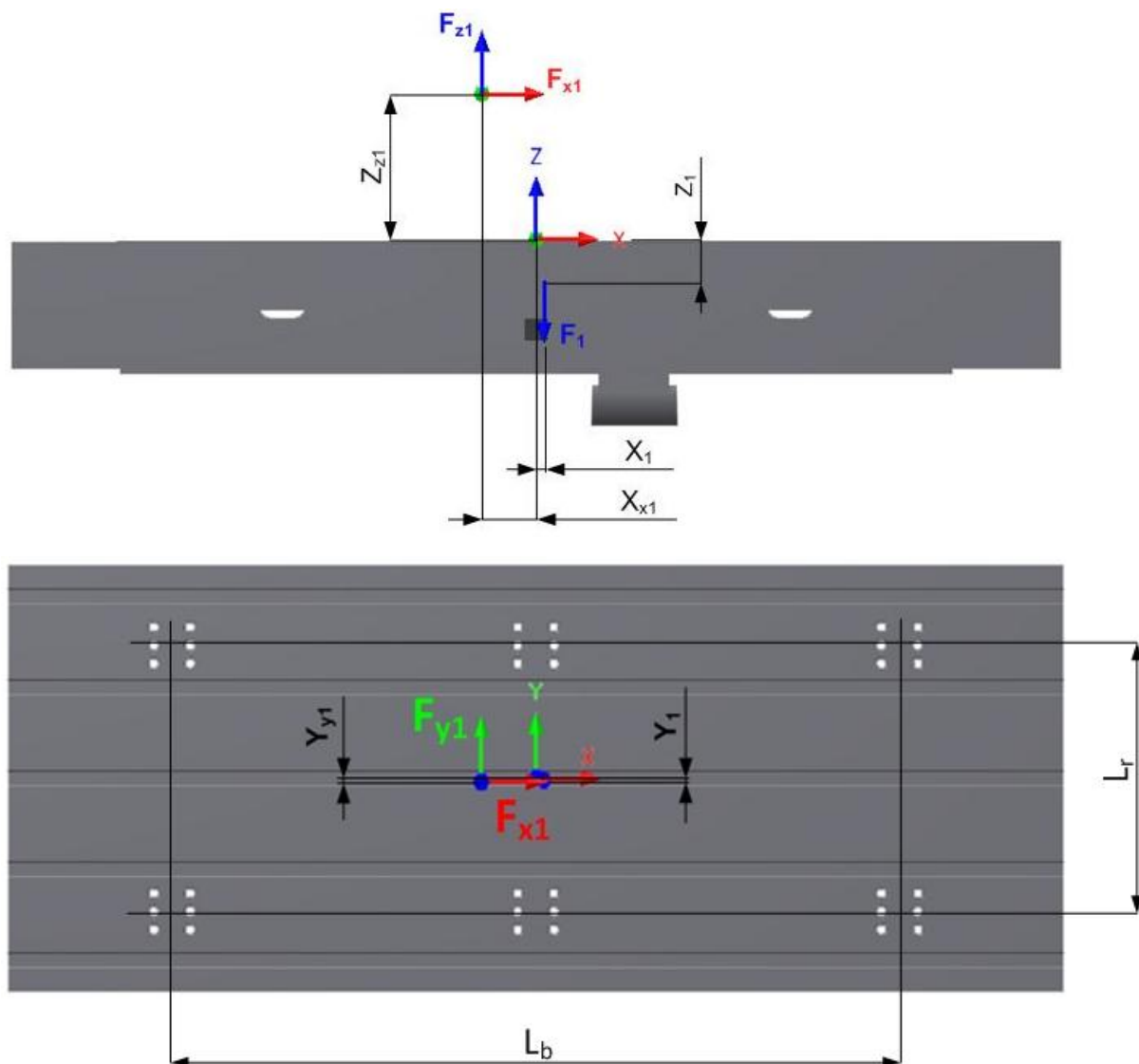
Každý výrobce lineárních vedení uvádí ve svých katalozích vlastní postup návrhu. Tyto postupy se spíše liší označením jednotlivých veličin a mírnou změnou stěžejních koeficientů. Návrh vedení je proveden v situaci, kdy je na pracovním stole největší maximální zatížení od obrobku. Tuto hodnotu 1350 kg uvádí Tajmac-ZPS ve svém katalogu.

Dále bude situace předpokládat obrábění ve směru osy X. Pro výpočet životnosti vedení předpokládám 16 hodin obráběcího času denně. Výpočet provedu podle způsobu firmy NSK [9].



4.3.1 Předpokládané hodnoty výpočtu

$F_{x1} = 500 \text{ [N]}$	Technologické zatížení v ose X
$F_{y1} = 300 \text{ [N]}$	Technologické zatížení v ose Y
$F_{z1} = -500 \text{ [N]}$	Technologické zatížení v ose Z
$F_1 = 4729 \text{ [N]}$	Tíha stolu
$F_2 = 13243,5 \text{ [N]}$	Tíha obrobku
$L_b = 1000 \text{ [mm]}$	Rozpětí vozíků
$L_r = 366 \text{ [mm]}$	Rozteč vozíků
$L_p = 2540 \text{ [mm]}$	Celková délka posuvu
$Y_b = 0 \text{ [mm]}$	Souřadnice pohonu vedení v ose Y
$Z_b = -212 \text{ [mm]}$	Souřadnice pohonu vedení v ose Z
$v = 15 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	Rychlost posuvu
$\tau = 16 \text{ [hod]}$	Pracovní doba



Obr. 53 Silové schéma

4.3.2 Souřadnice působišť sil

Tab. 1 Souřadnice působišť sil

	$F_{x1}=500[N]$	$F_{y1}=300[N]$	$F_{z1}=-500[N]$	$F_1=4729[N]$	$F_2=13243,5[N]$
X [mm]	-75	-75	-75	10,7	0
Y [mm]	-5	-5	-5	-2,57	0
Z [mm]	200	200	200	-56,34	100

Z uvedených souřadnic sil a jejich velikostí (včetně znamének) se může zdát, že síly ve směru osy Z (dle zvoleného souřadnicového systému) jsou uvedeny se špatnými znaménky. Z výpočtových podkladů ovšem vyplývá, že rovnice, pomocí kterých je dále výpočet prováděn, jsou již odvozeny pro záporný směr osy Z. Důvodem k tomu je pravděpodobně četnost sil v tomto směru (tíhové síly). Naopak souřadnice sil jsou v rovnicích ošetřeny pro zvolený souřadný systém.

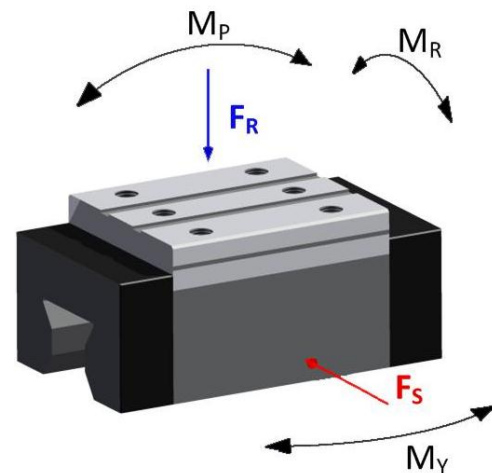
4.3.3 Typ vedení

Použité vedení je od firmy NSK s označením RA35-2618-AN-C2-P63 . Jedná se o válečkové vedení. Oproti kuličkám poskytuje vyšší tuhost, což je dáno především přímkovým stykem s valivou dráhou.

Charakteristiky vedení:

$C = 53300 [N]$ dynamická únosnost vedení

$C_0 = 129000 [N]$ statická únosnost vedení



Obr. 54 Klopné momenty a síly na hnízde

4.3.4 Pracovní režim

Ve výpočtu se využívají následující rovnice z katalogu NSK (9), které jsou odvozeny přímo pro dané rozložení valivých hnízd.

$$M_1 = \sum_{j=1}^n (F_{yj} \cdot Z_{yj}) + \sum_{k=1}^n (F_{zk} \cdot Y_{zk}) \quad (4.1)$$

$$M_2 = \sum_{j=1}^n \{F_{xi} \cdot (Z_{xi} - Z_b)\} + \sum_{k=1}^n (F_{zk} \cdot X_{zk}) \quad (4.2)$$

$$M_3 = - \sum_{i=1}^n \{F_{xi} \cdot (Y_{xi} - Y_b)\} + \sum_{j=1}^n (F_{yj} \cdot X_{yj}) \quad (4.3)$$

$$F_{r1} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{k=1}^n F_{zk} + \frac{M_1}{2 \cdot L_r} + \frac{M_2}{2 \cdot L_b} \quad (4.4)$$

$$F_{r2} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{k=1}^n F_{zk} + \frac{M_1}{2 \cdot L_r} - \frac{M_2}{2 \cdot L_b} \quad (4.5)$$

$$F_{r3} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{k=1}^n F_{zk} - \frac{M_1}{2 \cdot L_r} + \frac{M_2}{2 \cdot L_b} \quad (4.6)$$

$$F_{r4} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{k=1}^n F_{zk} - \frac{M_1}{2 \cdot L_r} - \frac{M_2}{2 \cdot L_b} \quad (4.7)$$

$$F_{s1} = F_{s3} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{j=1}^n F_{yj} + \frac{M_3}{2 \cdot L_b} \quad (4.8)$$

$$F_{s2} = F_{s4} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{j=1}^n F_{yj} - \frac{M_3}{2 \cdot L_b} \quad (4.9)$$

Dle rovnic 4.1 až 4.3 jsou zatěžující momenty působící na hnízda následující:

$$M_1 = F_{y1} \cdot Z_{z1} + F_1 \cdot Y_1 + F_2 \cdot Y_2 + F_{z1} \cdot Y_{y1} = 300 \cdot 200 + 4729 \cdot (-2,57) + 13243,5 \cdot 0 - 500 \cdot (-5) = 5,035 \cdot 10^4 [Nmm]$$

$$M_2 = F_{x1} \cdot (Z_{z1} - Z_b) + F_1 \cdot X_1 + F_2 \cdot X_2 + F_{z1} \cdot X_{x1} = 500 \cdot (200 + 212) + 4729 \cdot (10,7) + 13243,5 \cdot (0) - 500 \cdot (-75) = 2,941 \cdot 10^5 [Nmm]$$

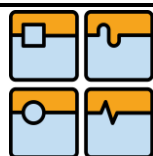
$$M_3 = -[F_{x1} \cdot (Y_{y1} - Y_b)] + F_{y1} \cdot X_{x1} = -[500 \cdot (-5 - 0)] + 300 \cdot (-75) = -2 \cdot 10^4 [Nmm]$$

Vertikální a boční zatížení vedení dle rovnic 4.4 až 4.9 je následující:

$$F_{r1} = \frac{F_1 + F_2 + F_{z1}}{4} + \frac{M_1}{2 \cdot L_r} + \frac{M_2}{2 \cdot L_b} = \frac{4729 + 13243,5 - 500}{4} + \frac{5,035 \cdot 10^4}{2 \cdot 366} + \frac{2,941 \cdot 10^5}{2 \cdot 1000} = 4584 [N]$$

Obdobně další:

$$F_{r2} = \frac{F_1 + F_2 + F_{z1}}{4} + \frac{M_1}{2 \cdot L_r} - \frac{M_2}{2 \cdot L_b} = 4290 [N]$$



$$F_{r3} = \frac{F_1 + F_2 + F_{z1}}{4} - \frac{M_1}{2 \cdot L_r} + \frac{M_2}{2 \cdot L_b} = 4446 [N]$$

$$F_{r4} = \frac{F_1 + F_2 + F_{z1}}{4} - \frac{M_1}{2 \cdot L_r} - \frac{M_2}{2 \cdot L_b} = 4152 [N]$$

$$F_{s1} = F_{s3} = \frac{F_{y1}}{4} + \frac{M_3}{2 \cdot L_b} = \frac{300}{4} + \frac{-2 \cdot 10^4}{2 \cdot 1000} = 65 [N]$$

$$F_{s2} = F_{s4} = \frac{F_{y1}}{4} - \frac{M_3}{2 \cdot L_b} = \frac{300}{4} - \frac{-2 \cdot 10^4}{2 \cdot 1000} = 85 [N]$$

Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$F_{ei} = F_{ri} + 0,5 \cdot F_{si} \quad \text{pro} \quad F_{ri} \geq F_{si} \quad (4.10)$$

$$F_{ei} = 0,5 \cdot F_{ri} + F_{si} \quad \text{pro} \quad F_{si} > F_{ri} \quad (4.11)$$

Tab. 2 Výsledné síly na hnízda při pracovním režimu

	1.Hnízdo	2.Hnízdo	3.Hnízdo	4.Hnízdo
F_r [N]	4584	4290	4446	4152
F_s [N]	65	85	65	85
F_e [N]	4616	4332	4479	4195

4.3.5 Volnochodý režim

Při tomto režimu nedochází k úběru materiálu, ale je zde přítomno zatížení od břemene. Proto není dále přítomna ve výpočtech síla od technologického zatížení.

Obdobně jako ve výpočtu pro pracovní režim dle rovnic 4.1 až 4.9:

$$M_{1n} = F_1 \cdot Y_1 + F_2 \cdot Y_2 = 4729 \cdot (-2,57) + 13243,5 \cdot 0 = -1,215 \cdot 10^4 [Nmm]$$

$$M_{2n} = F_1 \cdot X_1 + F_2 \cdot X_2 = 4729 \cdot (10,7) + 13243,5 \cdot 0 = 5,06 \cdot 10^4 [Nmm]$$

$$M_{3n} = 0 [Nmm]$$

$$F_{r1n} = \frac{F_1 + F_2}{4} + \frac{M_{1n}}{2 \cdot L_r} + \frac{M_{2n}}{2 \cdot L_b} = \frac{4729 + 13243,5}{4} + \frac{-1,215 \cdot 10^4}{2 \cdot 366} + \frac{5,06 \cdot 10^4}{2 \cdot 1000} = 4502 [N]$$

Obdobně další:

$$F_{r2n} = \frac{F_1 + F_2}{4} + \frac{M_{1n}}{2 \cdot L_r} - \frac{M_{2n}}{2 \cdot L_b} = 4451 [N]$$

$$F_{r3n} = \frac{F_1 + F_2}{4} - \frac{M_{1n}}{2 \cdot L_r} + \frac{M_{2n}}{2 \cdot L_b} = 4535 [N]$$

$$F_{r4} = \frac{F_1 + F_2}{4} - \frac{M_{1n}}{2 \cdot L_r} - \frac{M_{2n}}{2 \cdot L_b} = 4484 [N]$$

$$F_{s1n} = F_{s3n} = \frac{F_{y1}}{4} + \frac{M_{3n}}{2 \cdot L_b} = \frac{300}{4} + \frac{0}{2 \cdot 1000} = 75 [N]$$

$$F_{s2n} = F_{s4n} = \frac{F_{y1}}{4} - \frac{M_{3n}}{2 \cdot L_b} = \frac{300}{4} - \frac{0}{2 \cdot 1000} = 75 [N]$$

Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$F_{ei} = F_{ri} + 0,5 \cdot F_{si} \quad \text{pro} \quad F_{ri} \geq F_{si} \quad (4.12)$$

$$F_{ei} = 0,5 \cdot F_{ri} + F_{si} \quad \text{pro} \quad F_{si} > F_{ri} \quad (4.13)$$

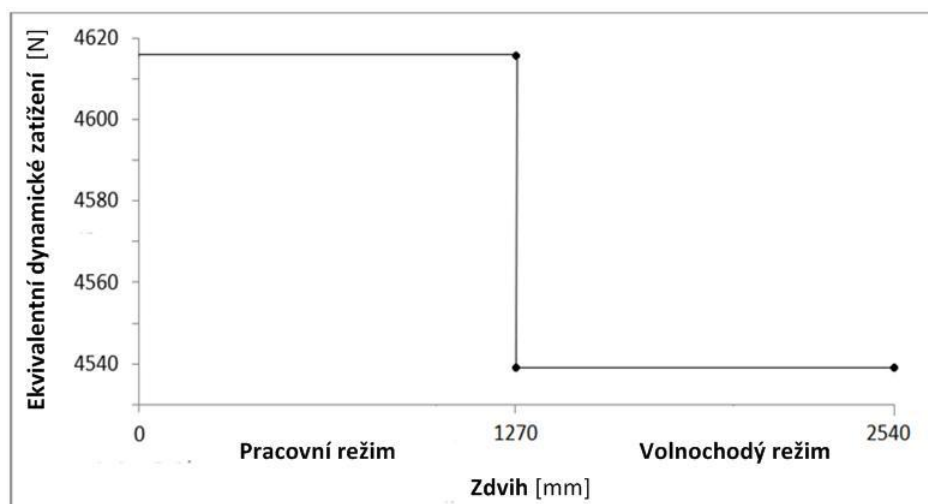
Tab. 3 Výsledné síly na hnízda při volnochodém režimu

	1.Hnízdo	2.Hnízdo	3.Hnízdo	4.Hnízdo
F_{rn} [N]	4502	4451	4535	4484
F_{sn} [N]	75	75	75	75
F_{en} [N]	4539	4489	4573	4522

4.3.6 Myšlené efektivní zatížení

Myšlené efektivní zatížení zavádíme v situaci, kdy uvažujeme výpočet při různých délkách zdvihu, případně s jinými zatíženími.

Pro výpočet se dále uvažuje situace, kdy posuv stolu probíhá až do maximálního zdvihu při technologickém zatížení a poté stejný zdvih probíhá v opačném směru bez technologického zatížení (obr. 55).



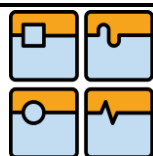
Obr. 55 Průběh zatížení při posuvu [9]

Z vypočtených hodnot vyplývá, že největší zatížení je soustředěno na hnízdo 1. Proto jako reprezentativní prvek pro vlastní výpočet životnosti je zvoleno právě hnízdo 1.

$$F_{mv} = \sqrt[p]{\frac{(F_{e1}^p \cdot L_{p1} + F_{e1n}^p \cdot L_{p2})}{L_p}} = \sqrt[p]{\frac{\left(4616^{\frac{10}{3}} \cdot 1270 + 4539^{\frac{10}{3}} \cdot 1270\right)}{2540}} = 4578 \text{ [N]} \quad (4.14)$$

4.3.7 Faktory ovlivňující životnost

Pro zlepšení přesnosti výpočtů je dále nutno určit zátěžový faktor f_w a odolnostní faktor f_h .



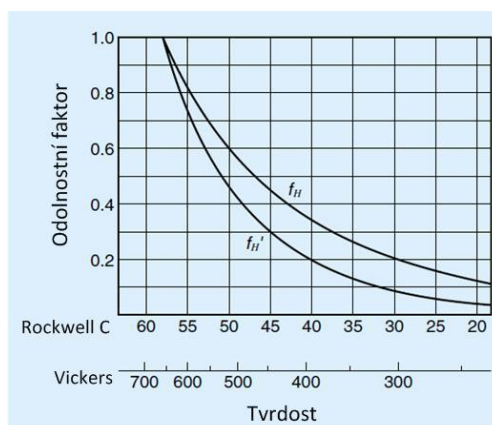
NSK ve svém postupu uvádí následující doporučení pro určení zátěžového faktoru:

Tab. 4 Volba zátěžového faktoru

Vnější vibrace	Zátěžový faktor
Bez vnějších vibrací	1-1,5
Vibrace z vnějšku	1,5-2,0
Značné vibrace	2,0-3,0

Volím zátěžový faktor $f_w = 1,5$

Volba odolnostního faktoru vychází z předpokladu tvrdostí materiálů vedení. NSK uvádí, že tvrdost jejich lineárních vedení je v rozmezí HRC58-62. Proto by se tento koeficient bral v potaz pouze tehdy, jestli-že je lin. vedení na přání zákazníka vyrobeno z měkčího materiálu (obr. 55). Proto je voleno $f_h = 1$.



Obr. 56 Odolnostní faktor f_h [9]

4.3.8 Životnost hnízda

$$L_{ziv} = 50 \cdot \left(\frac{f_h \cdot C}{f_w \cdot F_{mv}} \right)^{\frac{10}{3}} = 50 \cdot \left(\frac{1 \cdot 53300}{1,5 \cdot 4578} \right)^{\frac{10}{3}} = 46292 [km] \quad (4.15)$$

$$L_{den} = \frac{L \cdot 1000}{v \cdot 60 \cdot \tau} = \frac{46296 \cdot 1000}{15 \cdot 60 \cdot 16} = 3215 [dní] \quad (4.16)$$

4.3.9 Kontrola statické bezpečnosti

$$P_0 = F_{r1} + F_{s1} = 4584 + 65 = 4649 [N] \quad (4.17)$$

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} = \frac{129000}{4649} = 27,75 [-] \quad (4.18)$$

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat lineární posuvové soustavy s valivým vedením používané ve stavbě obráběcích strojů. Díky poměrně úzkému tematickému okruhu jsem mohl danou problematiku popsat detailně. Z uvedených možností provedení valivých vedení vyplývá, že konstruktér má několik možností jak navrhnout posuvovou soustavu. Stejně ale vždy bude muset volit mezi jednoduchostí konstrukčního provedení a nejvíce výkonnostní variantou. Dále je zřejmé, že posuvová soustava s valivým vedením bude upřednostňována u menších a středních strojů.

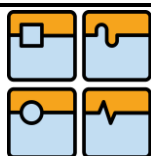
Na současném trhu figuruje mnoho firem zabývajících se lineární technikou. Jejich konstrukční provedení je na vysoké úrovni, ale přesto podniky neustále vkládají nové poznatky výzkumů do svých produktů. Tyto produkty se ovšem mezi jednotlivými firmami výrazně neliší.

V práci jsem provedl analýzu návrhu lineárního vedení vertikálního obráběcího centra MCFV 1260 firmy Tajmac-ZPS. Z výsledků vyplývá, že životnost vedení stroje při tomto zatížení je okolo 9 let. U tohoto typu vedení, bychom spíše požadovali celoživotní provoz stroje. Tato doba je z tohoto hlediska krátká. Musí se ovšem brát v potaz, že jen těžko bude výrobní stroj pracovat nepřetržitě 16 hodin denně po dobu 9 let, a jen stěží po celou tuto dobu na největší možné zatížení. Ve výpočtu se ovšem zanedbává účinek dalších možných klopných momentů a dalších vlivů např. nerovnoměrná hustota materiálu v objemu pracovního stolu. Také technologické zatížení je navrženo pouze v jeden okamžik řezného procesu. Přesto je tento výpočet jako názorný vyhovující.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOPECKÝ, Miloslav; HOUŠA, Jaromír. *Základy stavby výrobních strojů*. dotisk. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1992. 385 s. ISBN 80-01-00085-0.
- [2] DILINGER, Josef. *Moderní Strojírenství pro školu i praxi*. první. Praha : Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [3] HOUŠA, Jaromír. *Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů*. první. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p, 1985. 288 s. 04-229-85.
- [4] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. druhé, přepracované. Brno : Vysoké učení technické, 1991. 214 s. ISBN 50-214-0361-6.
- [5] BRENÍK, Přemysl; PÍČ, Josef. *Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty, Technický průvodce 59*. druhé, opravené. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p, 1986. 576 s. 04-235-86.
- [6] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. druhé, přepracované a rozšířené. Praha : MM publishing, s.r.o, 2010. 420 s. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [7] INA-SHAFFLER KG, . *HYDREL flat cage guidance systems / Linear recirculating roller guidance systems : Publication FRF*. Germany : INA, 2003. 209 s. 005-326-583.
- [8] THK [online]. c2006 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <https://tech.thk.com/upload/catalog_claim/pdf/270-11E_SRG_SRN.pdf>.
- [9] NSK Japan [online]. [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.jp.nsk.com/app01/en/catalog/index.cgi?pno=E3161>>.
- [10] Rollon [online]. 2008 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.rollon.de/fileadmin/Kunde/PDF/catalogue_e/Catalogue_Curviline_en.pdf>.
- [11] IZUMI INTERNATIONAL : ZIMMER CLAMPS [online]. [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.izumiinternational.com/zimmer/Zimmer2006.pdf>>.
- [12] ACE Controls International [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://ace-ace.com/downloads/en/ACE_SpezKat_Klemm_4-2010_EN.pdf>.
- [13] Rexroth [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://db3.bosch.de/cgi-bin/cgiWebLinkImage.exe/?sid=43274495&action=jpeg&image=\\obelix\ARENA4\Bilder\Bosch_Rexroth\0505\00123997.jpg>.
- [14] IKO [online]. 2011 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://www.ikont.co.jp/global_data/download/pdf_catalog/cat5507.1.pdf>.
- [15] T.E.A. TECHNIK s.r.o. [online]. 2007 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/Technická_data_3.pdf>.
- [16] Franke GmbH [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://www.franke-gmbh.de/global/files/kataloge/Franke_linear-systems_GK2010_en.pdf>.

- [17] *Schneeberger* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.schneeberger.com/fileadmin/files/Download_PDF_s/Linearfuehrungen_en.pdf>.
- [18] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/LFKL...SF;atBXp62KLZ69>>.
- [19] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.ina.com/content.ina.de/en/ina_fag_products/productinformation/linear_products/trackrollerguidance/laufrollenfuehrungen.jsp>.
- [20] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/LFR...2Z_LINEAR;atBXp62KLZ69>.
- [21] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.ina.de/content.ina.de/en/ina_fag_products/productinformation/linear_products/monorail_guidance_systems/roller_monorail/Roller_monorail.jsp>.
- [22] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/LFDL...B;atBXp62KLZ69#ST4_362572427>.
- [23] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/KUVE...W;bkdolgijs_Sh>.
- [24] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://medias.ina.de/medias/en!hp.ec.br/RWU...E-KT-HL;bkdolgijs_Sh?#RWU...E-KT-HL>.
- [25] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://medias.ina.de/medias/en!hp.tg.cat/tg_If*ST4_361368587>.
- [26] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://fagtest.ina.com/content.schaeffler.cz/cs/branches/industry/machine_tools/maschine_tool_-_product_range/profiled_rail_linear_1/rue_1/ruds_1/ruds.jsp>.
- [27] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/RUDS...D;aO07Y3YP8Ww5>>.
- [28] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/LFS...F;atBXp62KLZ69>>.
- [29] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/LFL...SF;atBXp62KLZ69>>.
- [30] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/BKE.TSX...D-H-SO;aO07Y3YP8Ww5>>.
- [31] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/KIT.RWU...E-410;av3teXmzru3e>>.
- [32] *Schaeffler Technologies : INA* [online]. [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW:
<http://medias.ina.de/medias/en!hp.info/RWU...E-KT-HL;bkdolgijs_Sh>.



SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	jednotka	Popis
C	[N]	dynamická únosnost vedení
C_o	[N]	statická únosnost vedení
F	[N]	zatížení
F_1	[N]	tíhová síla stolu
F_2	[N]	tíhová síla obrobku
F_e	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení
F_{mv}	[N]	myšlené efektivní zatížení
F_r	[N]	vertikální zatížení vedení
F_s	[N]	boční zatížení vedení
F_T	[N]	třecí síla za pohybu
F_{To}	[N]	třecí (adhezní síla) v klidu
F_{x1}	[N]	technologické zatížení v ose X
F_{y1}	[N]	technologické zatížení v ose Y
F_{z1}	[N]	technologické zatížení v ose Z
f	[-]	součinitel tření
f_h	[-]	odolnostní faktor
f_s	[-]	koefficient statické bezpečnosti
f_w	[-]	zátěžový faktor
H	[mm]	délka zdvihu
K	[mm·N ⁻ⁿ]	deformační konstanta
k	[N·m ⁻¹]	tuhost posuvového mechanismu
k_p	[N·m ⁻¹]	tuhost elementů předepjatého vedení
L	[mm]	výpočtová délka styku nebo vedení
L_A	[mm]	délka nepohyblivé části vedení
L_K	[mm]	potřebná délka klece
L_b	[mm]	rozpětí hnízd
L_p	[mm]	celková délka posuvu
L_r	[mm]	rozteč hnízd
L_{den}	[dní]	životnost vedení
L_{ziv}	[km]	životnost vedení
M_p	[N·m]	klopný moment
M_r	[N·m]	valivý moment
M_y	[N·m]	klopný zatáčivý moment
n	[-]	exponent závislý na druhu valivých elementů
P	[N]	předpětí
P_o	[N]	efektivní zatížení na hnízdech
Q	[N]	zatížení stykových elementů
Q_{max}	[N]	maximální zatížení stykových elementů
t	[s]	čas ustáleného pohybu
v	[m·s ⁻¹]	konstantní posuvová rychlost
X	[mm]	souřadnice sil v ose X
Y	[mm]	souřadnice sil v ose Y
Y_b	[mm]	souřadnice pohonu vedení v ose Y
Z	[mm]	souřadnice sil v ose Z
Z_b	[mm]	souřadnice pohonu vedení v ose Z
α	[°]	úhel mezi vedením a kladkou
δ	[mm]	deformace elementu
τ	[hod]	pracovní doba